

مثال (1):

1-1 دراسة دائرة مهتزة وديود:

في الدارة المبينة أدناه شكل (4). E توتر منبع مستمر مثالي، L حثية صرفة، C مكثف مثالي ذو توتر شحن أولي v_0 . بإهمال مقاومة جميع العناصر. نفرض أن

$$v = V_A - V_B$$

(1) نغلق القاطع K عند الزمن $t=0$ حيث $v_0=0$ ، ما هي العلاقات النازمة للتوتر $v(t)$ وللتيار $i(t)$.

(2) في الحالات الأربع التالية، نفرض أن:

- a) $E = 100V$, $v_0 = +50V$.
- b) $E = 100V$, $v_0 = 150V$.
- c) $E = 100V$, $v_0 = 250V$.
- d) $E = 100V$, $v_0 = -50V$.

ارسم منحنيات تغير كل من توتر المكثف v والتيار i .

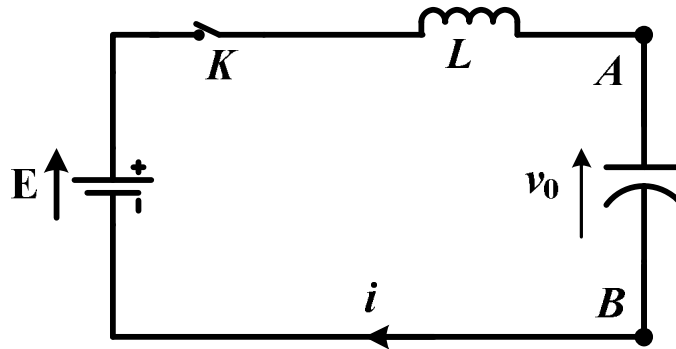
(3) بإضافة ديود مثالي في الدارة السابقة، أعد رسم منحنيات $v(t)$ و $i(t)$ من أجل:

- a) $E = 100V$, $v_0 = 100V$.
- b) $E = 100V$, $v_0 = 0$.
- c) $E = 100V$, $v_0 = -100V$.

حدد في كل حالة القيمة النهائية للتوتر v .

(4) كما في السؤال (3) أعلاه اعتبر أن $E=0$ و $v_0=-100V$ ، حدد القيمة النهائية للتوتر v .

الحل:



الشكل (4): دائرة مهتزة (L و C).

١- المعادلة التفاضلية للدائرة المبينة أعلاه هي:

$$E = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt$$

$$i = C \frac{dv}{dt} \text{ : حيث}$$

$$LC \frac{d^2v}{dt^2} + v = E \dots \dots \dots (1)$$

الحل العام للمعادلة:

$$v = A \cos \omega t + B \sin \omega t + E \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{حيث : } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

هنالك ثابتان A و B يجب تثبيتهما، لذا يجب إيجاد شرطين أوليين وهما:

$$-av(0) = v_0 \text{ عند الزمن } t=0 \text{ وعليه}$$

$$v_0 = A + E \dots \dots \dots (3)$$

$-bi(0)=0$ (التيار معدوم عند $t=0$ وأيضاً بعد الصفر بقليل $t=0^+$ وذلك استناداً لقانون استمرارية التيار المار في المفاعلة L .

$$\text{لدينا } \frac{dE}{dt} = 0 \text{ ولدينا:}$$

$$\frac{i}{C} = -A\omega \sin \omega t + B\omega \cos \omega t \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{إذاً } i(0) = C.B.\omega = 0 \quad B=0$$

والحل الخاص المناسب للمسألة هو

$$v = (v_0 - E) \cos \omega t + E \dots \dots \dots (5)$$

$$i = C.\omega(E - v_0) \sin \omega t \dots \dots \dots (6)$$

2- منحنيات التوتر والتيار:

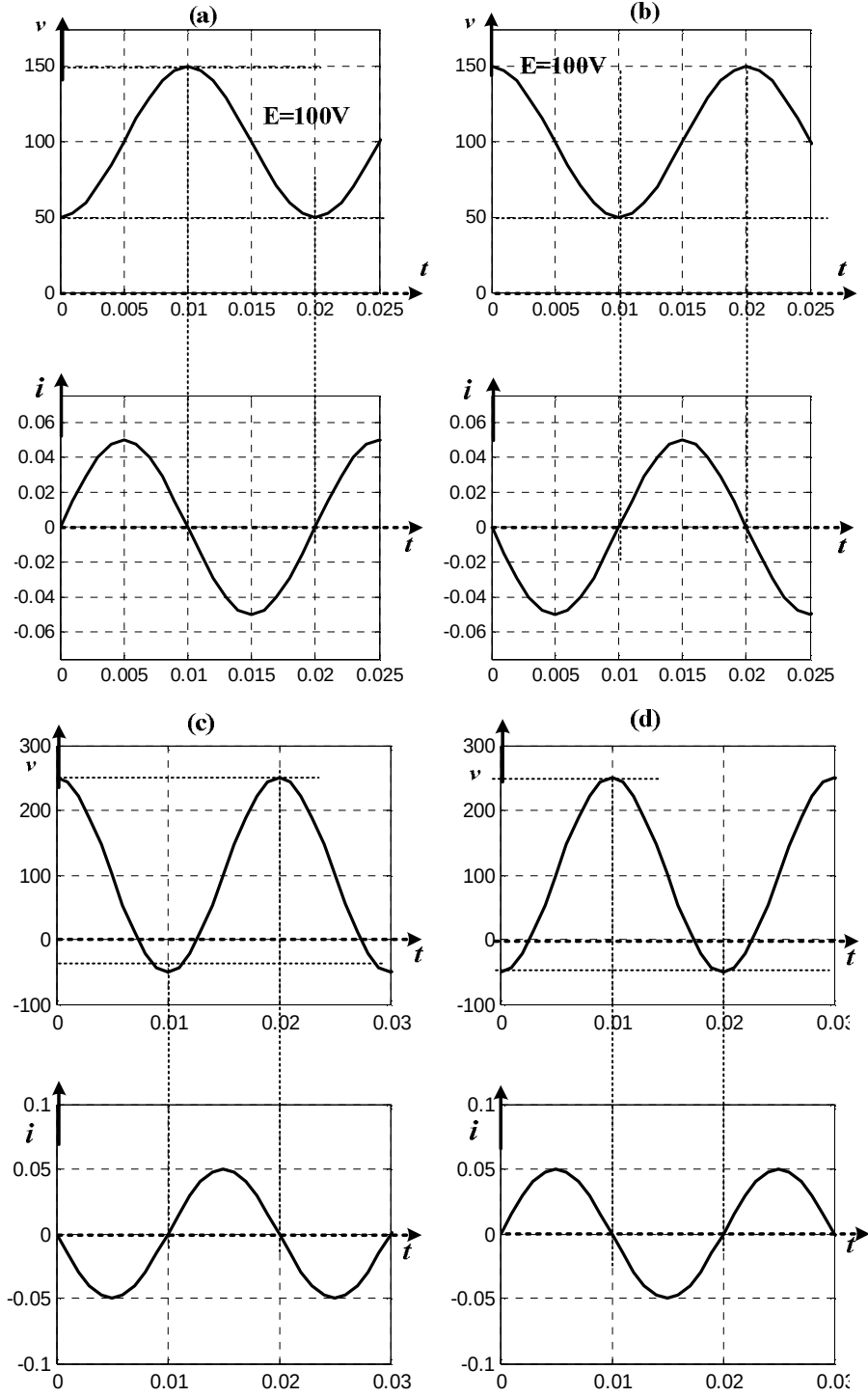
شكل الحل يمكن أن يكون مختلفاً، حسب القيم الأولية المعطاة لـ v_0 . ونلاحظ أن كمون A غالباً ما يكون سالباً.

٣- المعادلات الأساسية للتوتر V والتيار I تبقى كما هي، لكن خلال نصف دور، سوف يصبح التيار معدوماً، حيث يتم حجز الديود $i=0$. ويبقى النظام في حالة حجز في الحالة التي وصل إليها عند التبديل، وسيبقى المكثف مشحوناً عند التوتر v الذي وصل إليه.

عملياً، يكفي أن يحتفظ المكثف بهذه الشحنة لأجزاء من الثانية. وعليه:

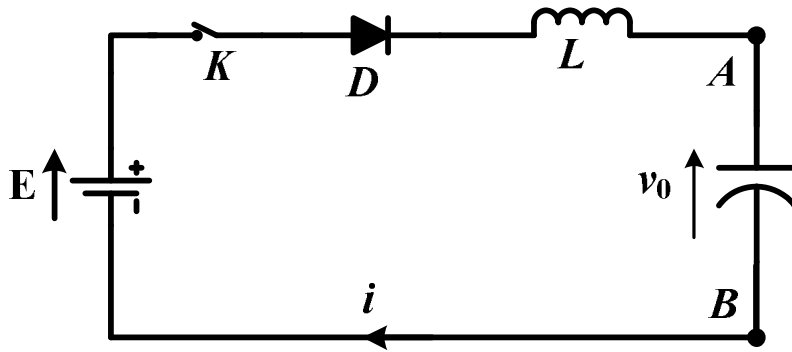
a- عندما يكون التوتر $E = 100V$ و $v_0 = 100V$. سوف لن يحدث شيء، لعدم إمكانية مرور

التيار I في الدارة (الشكل ٦).



الشكل (5): منحنيات التوتر والتيار في حالات التشغيل المختلفة.

2- استخدام ديود مع الدارة المهتزة:



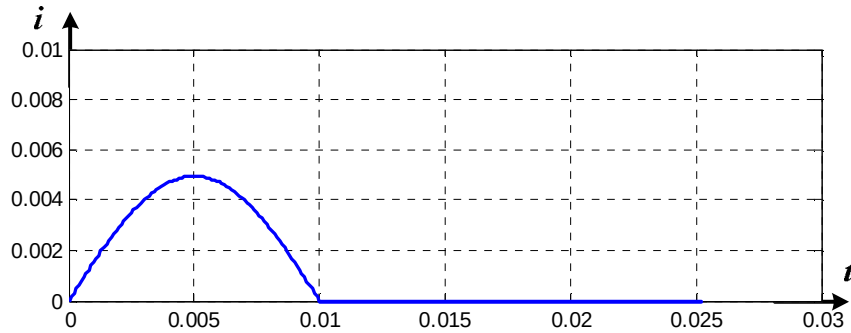
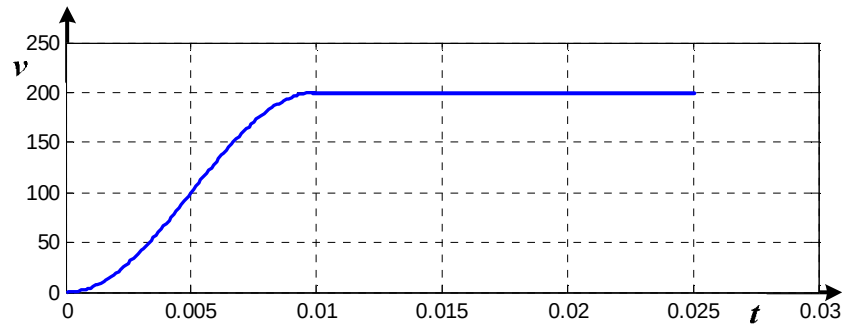
الشكل (6) دائرة الاستطاعة.

b- في هذه الحالة $E = 100V$ و $v_0 = 0$ (أي المكثف غير مشحون)، وسوف يبدأ الشحن من القيمة صفر.
لدينا :

$$v = E(1 - \cos \omega t)$$

وسوف يصل توتر المكثف إلى القيمة المساوية لضعف توتر المنبع E . $V = 2.E$
كما في الشكل أدناه (7)، والتيار سيمر حسب العلاقة:

$$i = E.C.\omega.\sin \omega t$$



الشكل (7) تغيرات التوتر والتيار عندما يكون المكثف غير مشحون.

c - في حال كون $E = 100V$ و $v_0 = -100V$ أي أن المكثف ذو شحنة أولية معكوسة وتساوي توتر المنبع.

العلاقة الناظمة لتوتر المكثف:

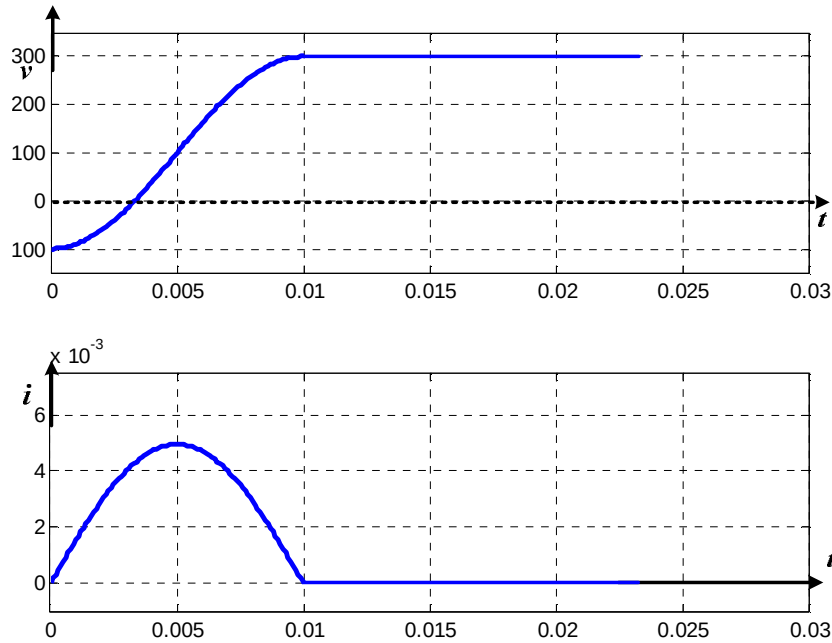
$$v = -200\cos \omega t + 100$$

وسوف يصل توتر المكثف النهائي عندئذ للقيمة $v = 300V$.

التيار المار في الدارة يمر حسب العلاقة:

$$i = 2E.C.\omega.\sin \omega t$$

والشكل (8) أدناه يوضح شكل التوتر والتيار.



الشكل (8): تغيرات التوتر والتيار عند وجود شحنة أولية للمكثف.

(4) عندما يكون $E=0$ و $v_0 = -100V$

هذه الحالة تمثل إعادة شحن المكثف بقطبية معاكسة، علماً أنه ذو توتر شحن أولي :

$$v_0 = -100V.$$

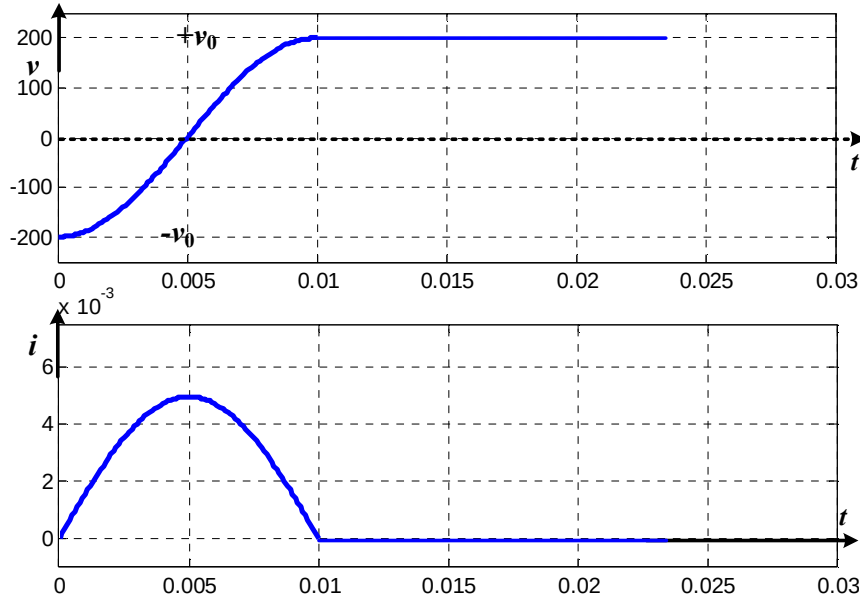
بالعودة للعلاقات الناظمة للتوتر والتيار وبوضع $E = 0$ وإضافة شرط إضافي $i \geq 0$ نجد العلاقات التالية الجديدة:

$$v = v_0 \cos \omega t$$

$$i = -C.v_0.\omega.\sin \omega t$$

$$i \geq 0$$

المكثف يعكس شحنته ويمر التيار خلال عكس القطبية.



الشكل (9) إعادة شحن المكثف.

مثال (2):

حدد أبعاد العناصر غير الفعالة (Passives) ومواصفات الثيرستورات المستخدمة في المقطع التسلسلي المبين بالشكل (14) حيث. يعمل المقطع عند تردد عمل 200Hz. وحمل أومي قدره 5Ω . ومنبع تغذية 24V. افرض أن زمن الفصل للثيرستور $100\mu s$. أهمل المفاقيد.

الحل:

يمثل الشكل (15) أشكال الأمواج. لاختيار المكثف، يمكن الملاحظة، أنه حسب شكل موجة التوتر العكسي لـ V_{T1} (الثيرستور الرئيسي)، زمن فصل T_1 يمكن الحصول عليه في منتصف الموجة الآسية من $-E$ حتى $+E$. وتبعاً للعلاقة:

$$V = E + Ae^{\frac{t}{T}}$$

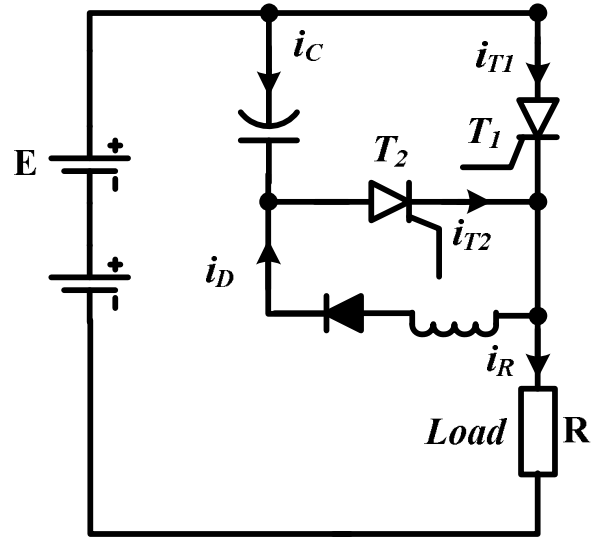
نجد عند $t=0$ بداية فترة فصل T_1 أن:

$$V = E - 2Ee^{\frac{t}{T}}$$

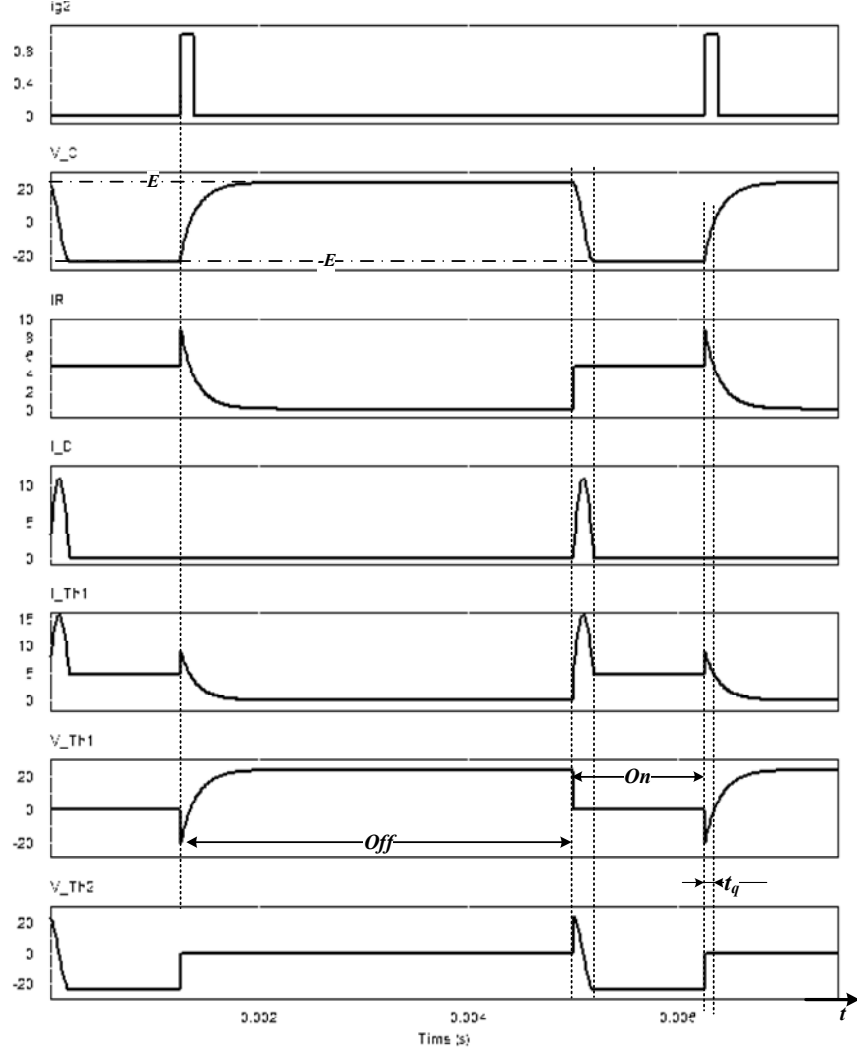
عندما يكون التوتر $V=0 \leftarrow$ زمن الحجز $t=100\mu s$ وعليه بالتعويض:

$$0 = 24 - 2(24)e^{-\frac{100 \times 10^{-6}}{T}}$$

حيث $T = 1.44 \times 10^{-4} s$



الشكل (14): دائرة الاستطاعة للمقطع التسلسلي مع دائرة التبديل القسري.



الشكل (15): أشكال الأمواج لمختلف عناصر الدارة.

ومن العلاقة $T = R.C$ نجد:

$$C = T / R = 1.44 \times 10^{-4} / 5 = 29 \mu F$$

- من أجل فصل الثيرستور T_2 . يمكن ملاحظة شكل التوتر العكسي على T_2 وهو V_{T2} . نجد أن زمن الفصل يساوي ربع الفترة لدور الاهتزاز للدارة (LC) حيث:

$$\frac{1}{4} \times 100 \times 10^{-6} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{LC}$$

ومنه فإن الحثية اللازمة لتحقيق الاهتزاز $L = 0.14 \text{ mH}$.

- المساواة بين القدرة المخزنة في المكثف والملف تعطي:

$$\frac{1}{2} C.V^2 = \frac{1}{2} L.I^2$$

وعليه فإن تيار الاهتزاز:

$$I = \left(\frac{29 \times 10^{-6} \times 24^2}{0.14 \times 10^{-3}} \right)^{\frac{1}{2}} = 19.9A$$

- تيار الحمل الدائم يساوي:

$$i_R = \frac{U}{R} = \frac{24}{5} = 4.8A$$

- خواص الثيرستور T_1 :

- تيار الثيرستور في حالة التشغيل الدائم = 4.8 أمبير.

- التيار الأعظمي: $10.9 + 4.8 = 15.7$ أمبير.

- خواص الثيرستور T_2 المستخدم للحجز:

الثيرستور T_2 سوف لن يمر به سوى التيار اللازم لشحن المكثف.

$$i = \frac{2 \times 24}{5} e^{-\frac{t}{T}} = 1.16A$$

وكي يمكنه تحمل التيار الأعظمي يمكن اختيار ثيرستور بتيار 1.5A. وتوتر عكسي 24V.

- الديود يمكن اختيار تياره بحدود 2A وذلك من حساب المفاهيم فيه.

مثال (3):

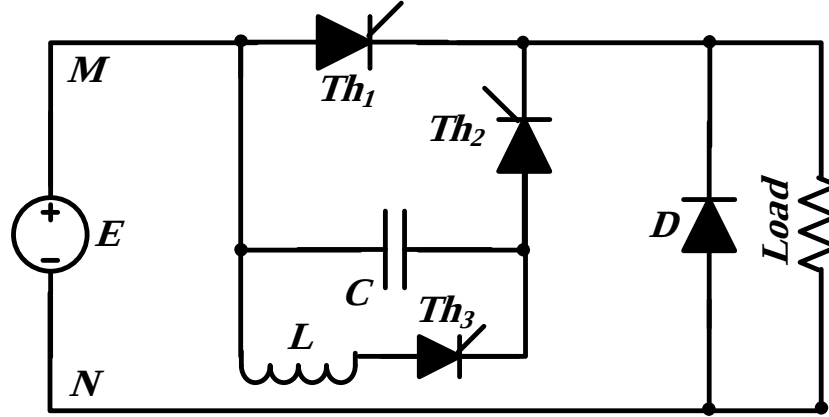
في الدارة المبينة أدناه شكل (18) بين لنا ما يلي:

- 1- متى يتم تشغيل الثيرستور الأول، وماذا ينجم عن تشغيله.
- 2- متى يتم تشغيل الثيرستور الثاني ولماذا؟ وكيف يقف عن التوصيل.
- 3- ما العوامل المؤثرة في اختيار سعة المكثف C وما شكل التوتر على المكثف خلال الدور وضح ذلك.
- 4- ما العوامل المؤثرة في اختيار حثية الملف L.
- 5- ما شكل التوتر والتيار في الحمل.

الحل :

١- في الدارة المبينة في الشكل (18) يمكن الإجابة على الأسئلة المطروحة كما يلي: يتم تشغيل الثيرستور الأول كل بداية دور من أدوار المقطع التسلسلي ولدى تشغيله يمر تيار مستمر من المنبع إلى الحمل خلال فترة توصيل الثيرستور الأول Th_1 .

2- عند الزمن DT يتم تشغيل الثيرستور Th_2 بقصد إطفاء الثيرستور Th_1 ذلك لأن تشغيل Th_2 وكون قطبية المكثف C جهة اليمين موجبة تسمح بتطبيق توتر موجب على مهبط Th_1 وتوتر سالب على مصعده وهذا يؤمن حجز Th_1 . بعد انتهاء تفريغ المكثف وبدء انعكاس قطبيته. وعدم مرور تيار من المكثف سوف يقف Th_2 .



الشكل (18) دائرة الاستطاعة لمقطع تسلسلي (دائرة التبديل القسري).

3- العوامل المؤثرة في اختيار سعة المكثف هي:

- زمن فصل الثيرستور.
- تيار الحمل الأعظمي للثيرستور.
- التناصب العكسي مع توتر المنبع المستمر.

$$C = \frac{t_{\infty} \cdot I_{L0}}{0.425 \cdot E}$$

4- العوامل المؤثرة في اختيار حثية الملف L هي:

- زمن فصل الثيرستور.
- توتر المنبع المستمر.
- عكساً مع تيار الحمل

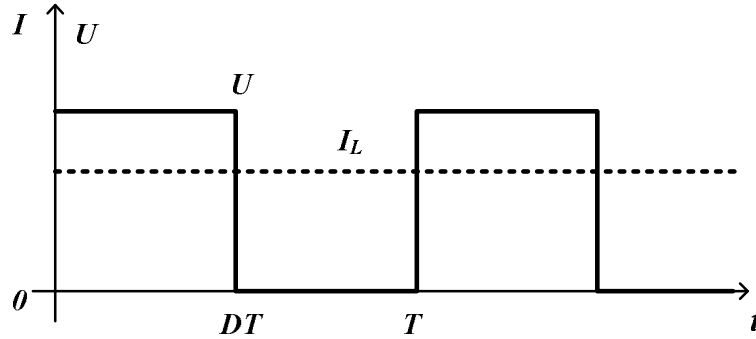
$$L = \frac{t_{\infty} \cdot E_0}{0.425 \cdot I_{L0}}$$

t_{∞} : زمن الفصل للقاطع.

E_0 : توتر المنبع.

I_{L0} : تيار الحمل.

5- شكل التوتر والتيار:

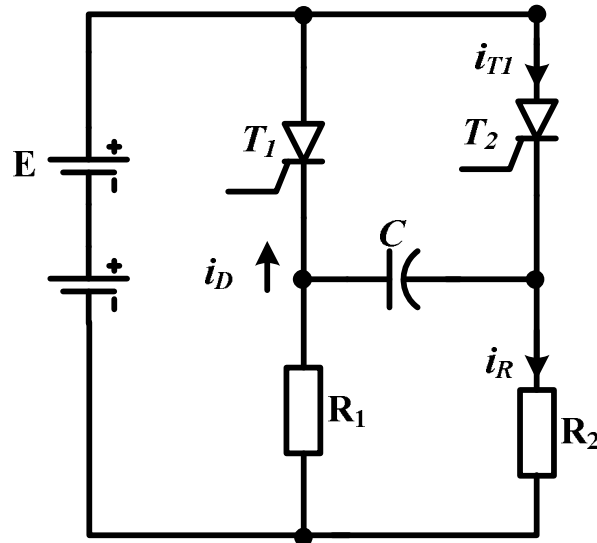


الشكل (19) توتر الخرج، والتيار الحمل.

مثال (4):

حدد سعة المكثف اللازم وضعه في المقطع البسيط ذي المكثف التفرعي المبين في الشكل أدناه (20) وذلك من أجل حمل أومي قدره 6Ω ، علماً أن منبع التغذية $36V$. زمن الفصل للثيستر T_1 هو $80\mu s$.

خذ $R_2 = 5R_1$ ، واحسب الزمن الاسمي التقريبي اللازم لفصل T_1 . أهمل المفايد.



الشكل (20) مقطع بسيط ذي مكثف تفرعي.

الحل:

في البداية المكثف C يكون مشحوناً حتى توتر المنبع E. إذاً في حال كون الثيستر T_2 موصلاً، فإن التوتر على طرفي المكثف C (أو الثيستر T_1) يساوي :

$$V = E - 2Ee^{-\frac{t}{T}}$$

عند نهاية فترة الحجز، V تنعدم وذلك من أجل $\frac{t}{T} = 0.693$ وبالنتيجة باعتبار $T = R_1 \times C$ و $t = 80\mu s$ فإن:

$$C = 80 \times 10^{-6} \times 0.693 \times 6 = 19.2\mu F$$

- عندما تكون $R_2 = 5R_1 = 30\Omega$. إذاً لدى توصيل الثيرستور T_1 سوف تتغير قيمة C ، لأن

$$V = E - 2Ee^{-\frac{t}{T}}$$

حيث $T = R_2 \times C$ و الثيرستور T_1 يجب أن يستمر بالتوصيل حتى تصبح $V = 0.8E$ وهو الذي يحدد الزمن t للإغلاق والبالغ $1.33ms$ إذا تم تشغيل الثيرستور T_2 بالمكثف المشحون لغاية $0.8E$ ، فإن C ستساوي $22.7\mu F$ وذلك كي تؤمن زمن حجز قدره $80\mu s$.

مثال (5):

مقطع تسلسلي خافض للتوتر (Buck Conv.) يغذى من منبع $100V$ يعمل الثيرستور المستخدم عند تردد تقطيع يساوي $1000Hz$. والاستطاعة العظمى المقدمة للحمل تساوي $10kW$. إذا كان المقطع مثالياً، احسب قيمة حثية المفاعلة بحيث أن التيار الأصغري لها يصل إلى الصفر مرة في الدور إذا كانت استطاعة الحمل $5kW$.

الحل:

يوضح الشكل (23-a) دائرة الاستطاعة والتوترات والتيارات المارة بشكل عام. لكن بفرض أن التيار I سوف يصل للقيمة صفر مرة كل دور. فإنه يمكن القول أن التيار شبه متواصل وأن $I_{min}=0$. استطاعة الخرج تعطى عادة بالعلاقة:

$$P_0 = \frac{V_l^2}{R}$$

تعطى استطاعة الدخل من المنبع بالعلاقة

$$P_i = V_S \cdot I_{av}$$

وبما أن المردود 100% فإن استطاعة الدخل تساوي استطاعة الخرج.

- تيار الملف المتوسط:

$$I_{av} = \frac{I_{\max}}{2}$$

- التوتر على طرفي الملف (المفاعلة) يساوي:

$$V_{L1} = L \frac{I_{\max}}{t_{ON}}$$

$$I_{\max} = \frac{V_{L1}}{L} t_{ON} = \frac{V_{L1} \cdot D}{L \cdot F} = \frac{V_S - V_l}{L} \cdot \frac{D}{F}$$

- باعتماد العلاقة:

$$L = \frac{(1-D)R}{2 \cdot F}$$

نجد أن الاستطاعة في الحمل تزداد بزيادة عامل الدور D أي عند $D=1$ وعندئذ توتر الحمل $V_l = V_S = 100V$ والمقاومة:

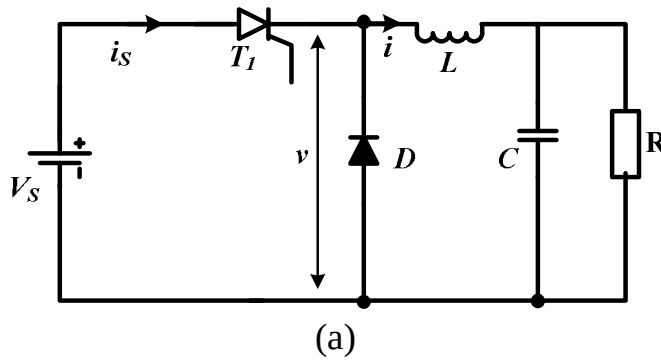
$$R = \frac{V_l^2}{P} = \frac{(100)^2}{10000} = 1\Omega$$

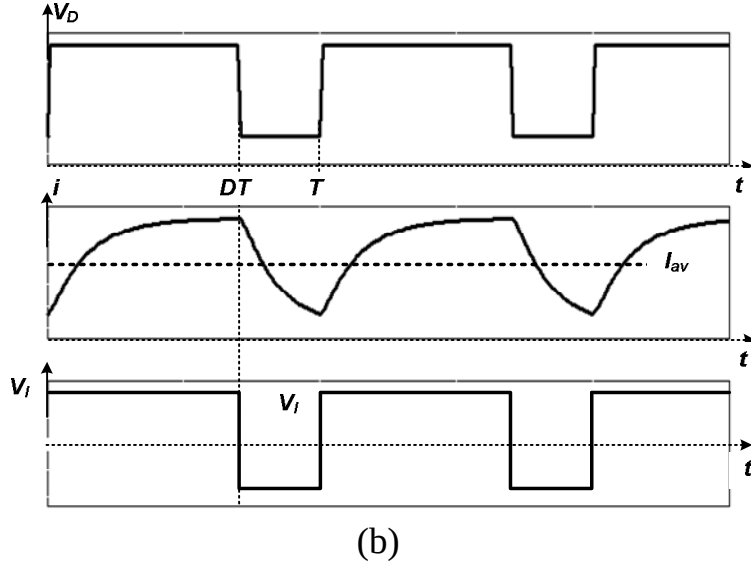
وعليه إذا كانت الاستطاعة المحقونة في الحمل 5kW عندئذ:

$$D = \frac{1}{V_S} \sqrt{P \cdot R} = \frac{1}{100} \sqrt{5000} = 0.707$$

وعليه:

$$L = \frac{(1-D)R}{2 \cdot F} = \frac{1 \times (1-0.707)}{2 \times 1000} = 0.147mH$$



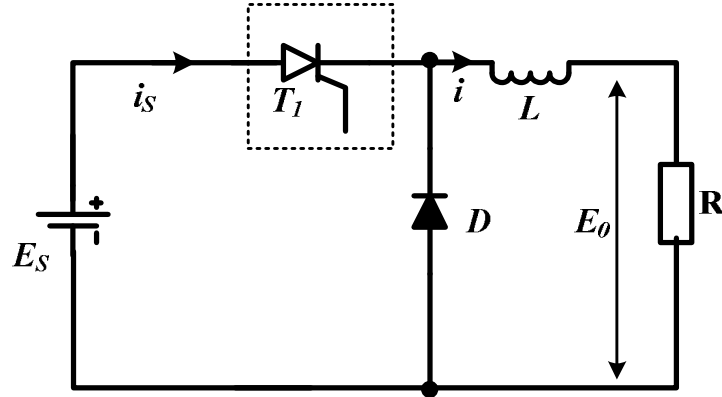


الشكل (23) مقطع تسلسلي خافض للتوتر
a- دائرة الاستطاعة. b- التوترات والتيارات.

مثال (6):

مقطع تسلسلي شكل (25) يعمل عند تردد 4kHz، زمن التوصيل $20\mu s$. احسب المقاومة الظاهرية للمنبع، علماً أن مقاومة الحمل $R_0 = 12\Omega$.

الحل:



الشكل (25) مقطع تسلسلي.

- عامل الدور هو:

$$D = \frac{T_a}{T} = T_a f$$

$$D = 20 \times 10^{-6} \times 4000 = 0.08$$

- المقاومة الظاهرية للمنبع R_S تعطى بالعلاقة:

$$R_S = \frac{E_S}{I_S} = \frac{E_0 / D}{I_0 \cdot D} = \frac{E_0}{I_0 \cdot D^2}$$

$$R_S = \frac{R_0}{D^2}$$

وعليه:

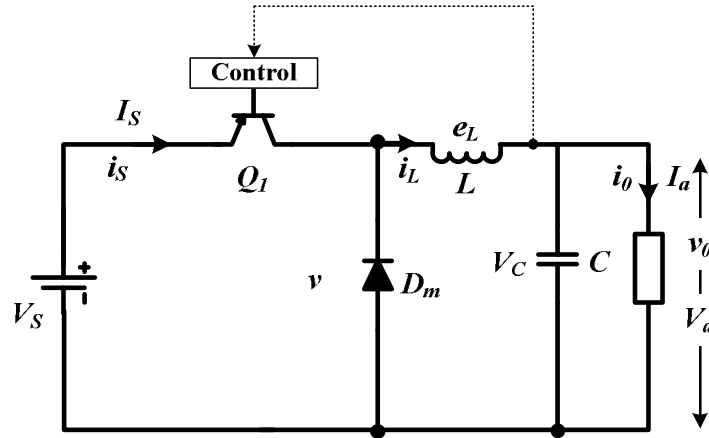
$$R_S = \frac{12}{(0.08)^2} = 1875 \Omega$$

في هذا المثال نرى أن القيمة الحقيقية للمقاومة (Actual) يمكن أن تزداد كثيراً باستخدام المقطع. وعليه يمكن مقارنة المقطع بالمحول، مع وجود اختلاف كبير بينهما.

ذلك لأن المحول يسمح بجريان الاستطاعة في كلا الاتجاهين، من جهة التوتر العالي إلى جهة التوتر المنخفض وبالعكس. بينما المقطع الخافض للتوتر (Step-down) يمكنه فقط تحويل الاستطاعة من جهة التوتر العالي إلى جهة التوتر المنخفض.

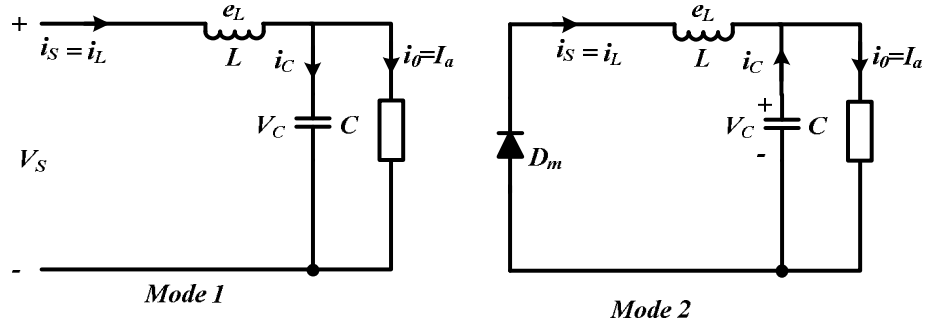
٢-٣ نظرية عمل المقطع التسلسلي BUCK Regulators (خافض التوتر):

في المقطع التسلسلي المبين في الشكل (26-a) توتر الخرج دائماً أقل من توتر الدخل. اشرح مرحلتي العمل، الأولى عند وصل Q_1 والثانية عند فصله. اعتبر أن التيار في الحمل مستمر.



الشكل (26-a) دائرة الاستطاعة.

الحل: الدارة المكافئة في حالتَي العمل الأولى والثانية مبينة أدناه:



الشكل (26-b) الدارة المكافئة في حالة العمل الأولى والثانية

- التوتر عبر الممانعة L يعطى بشكل عام بالعلاقة: (هذه هي ممانعة المرشح في الخرج)

$$e_L = L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

بفرض أن تيار الممانعة يرتفع من I_1 إلى I_2 خلال الزمن t_1 وهو زمن توصيل القاطع Q_1 ، وعليه:

$$V_S - V_a = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \dots\dots\dots (2)$$

ومنه:

$$t_1 = \frac{\Delta I \times L}{V_S - V_a} \dots\dots\dots (3)$$

- بالمقابل لدى فصل القاطع Q_1 فإن الدارة المكافئة mod2 ستطبق والتيار الذي كان ماراً سوف يستمر المرور بـ D_m لكن سينخفض من القيمة I_2 إلى I_1 خلال الزمن t_2 وعليه يمكن القول أن:

$$-V_a = -L \frac{\Delta I}{t_2} \dots\dots\dots (4)$$

(لأن توتر المكثف مساوٍ لـ V_a وهو توتر الحمل قبل فصل القاطع).

$$t_2 = \frac{\Delta I \times L}{V_a} \dots\dots\dots (5)$$

$\Delta I = I_2 - I_1$ تمثل تغيرات تيار الملف من القمة للقمة (Peak- to- Peak ripple) بالمساواة بين العلاقات (4) و (2) نجد:

$$\Delta I = \frac{(V_S - V_a)t_1}{L} = \frac{V_a t_2}{L} \dots\dots\dots (6)$$

بالتعويض عن $t_1 = D.T$ و $t_2 = (1-D)T$ يمكن حساب القيمة المتوسطة لتوتر الخرج حسب العلاقة:

$$V_a = V_S \frac{t_1}{T} = DV_S \dots\dots\dots (7)$$

وبإهمال المفايد في الدارة يمكن أن نكتب:

$$V_S.I_S = V_a.I_a = DV_S.I_a \dots\dots\dots(8)$$

وعليه فإن:

$$I_S = D.I_a \dots\dots\dots(9)$$

- دور التقطيع T يمكن أيضاً التعبير عنه بالشكل:

$$T = \frac{1}{F} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I.L}{V_S - V_a} + \frac{\Delta I.L}{V_a}$$

$$T = \frac{\Delta I.L.V_S}{V_a(V_S - V_a)} \dots\dots\dots(10)$$

ومنه يمكن حساب تعرجات التيار العظمى:

$$\Delta I = \frac{V_a(V_S - V_a)}{F.L.V_S} \dots\dots\dots(11)$$

أو بالشكل:

$$\Delta I = \frac{V_S D(1 - D)}{F.L} \dots\dots\dots(12)$$

- باستخدام قانون كيرشوف، خلال عملية فصل القاطع Q₁، يمكن أن نكتب تيار الملف i_L بالشكل:

$$i_L = i_C + i_0$$

إذا فرضنا أن تغيرات تيار الحمل Δi₀ مهمة فإن Δi_L = Δi_C. وعليه فإن التيار المتوسط للمكثف والذي يمر خلال الفترات:

$$\frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2} = \frac{T}{2}$$

$$I_C = \frac{\Delta I}{4} \quad \text{هو:}$$

- وتوتر المكثف يمكن التعبير عنه بالعلاقة:

$$V_C = \frac{1}{C} \int i_C dt + V_C(t=0)$$

تعرجات توتر المكثف تعطى بالشكل:

$$\Delta V_C = V_C - V_C(t=0) = \frac{1}{C} \int_0^{T/2} \frac{\Delta I}{4} dt$$

$$\Delta V_C = \frac{\Delta I.T}{8C} = \frac{\Delta I}{8.F.C} \dots\dots\dots(13)$$

بالتعويض عن قيم ΔI السابقة (11) أو (12) نجد:

$$\Delta V_C = \frac{V_a(V_s - V_a)}{8.L.C.F^2.V_s} = \frac{V_s D(1-D)}{8.L.C.F^2} \dots\dots\dots(14)$$

- في حالة كون تيار الملف غير متقطع، دائم مستمر، إذا كان I_L هو متوسط تيار الملف، فإن تعرجات تيار الملف $\Delta I = 2I_L$.

باستخدام العلاقات (8) و (12) نجد:

$$\frac{V_s(1-D)D}{F.L} = 2I_L = 2I_a = \frac{2D.V_s}{R} \dots\dots\dots(15)$$

وهذا يسمح بمعرفة القيمة الحرجة للمفاعلة L_C حيث:

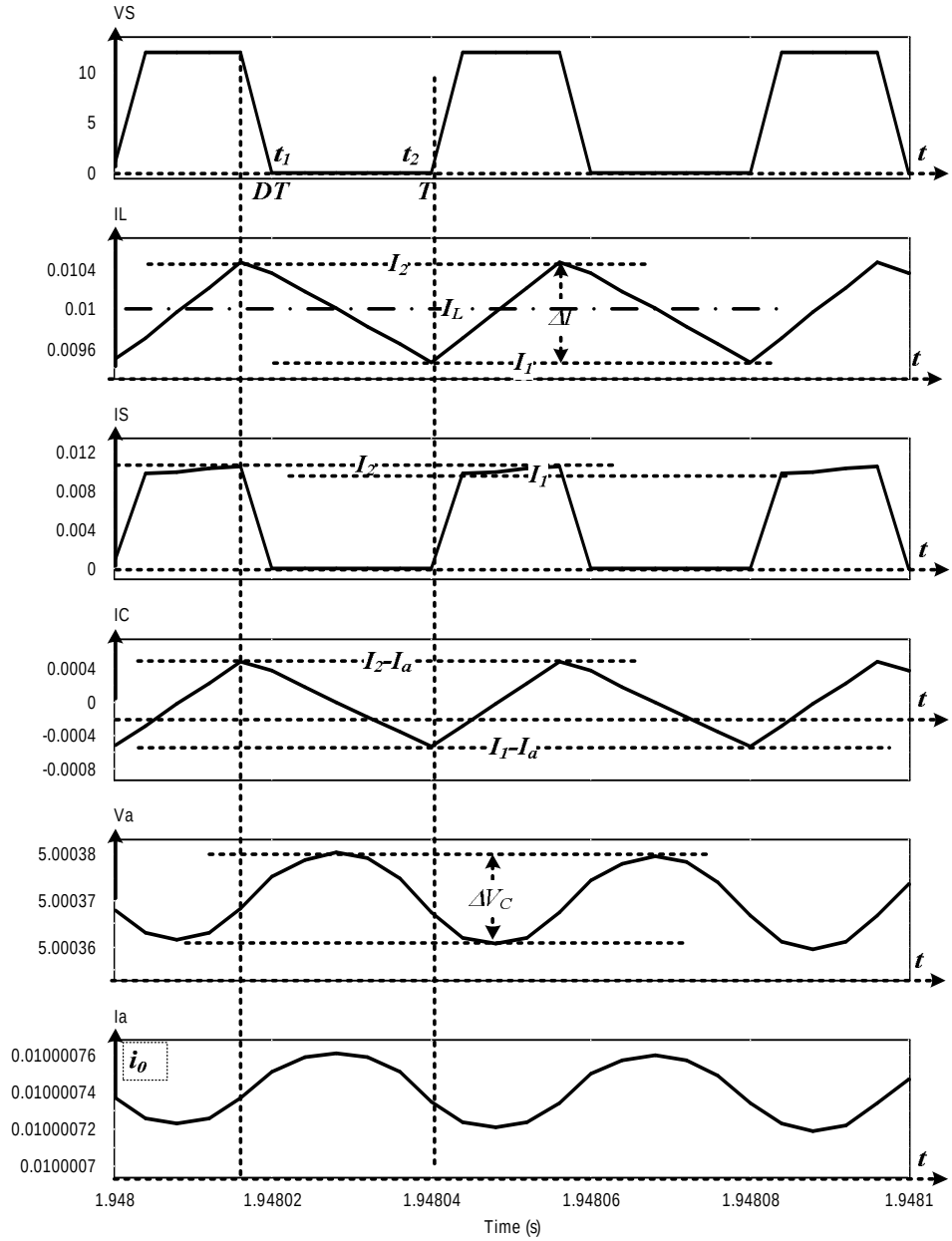
$$L_C = L = \frac{(1-D)R}{2F} \dots\dots\dots(16)$$

- إذا كان V_C هو التوتر المتوسط للمكثف، تعرجات توتر المكثف $\Delta V_C = 2V_a$ بالاعتماد على العلاقات (8) و (14) نجد:

$$\frac{V_s(1-D)D}{8.L.C.F^2} = 2V_a = 2DV_s$$

فإن القيمة الحرجة لسعة المكثف C ستكون مساوية:

$$C_C = C = \frac{1-D}{16LF^2} \dots\dots\dots(17)$$



الشكل -26

c) أشكال الأمواج خلال مراحل العمل للمقطع التسلسلي.

مثال (7):

مقطع ترانزستوري تفرعي غذي من مدخلة ذات توتر 24V وحمل بمقاومة قدرها 50Ω . يعمل عند تردد تقطيع قدره 25KHz. بفرض أن معدل تغير التيار والتوتر بالنسبة للزمن ثابت. احسب ما يلي:

- 1- ارسم دائرة الاستطاعة الممكن استخدامها وشرح آلية العمل للنظام.
- 2- أوجد العلاقة النازمة بين توتر الخرج والدخل. واحسب توتر الخرج عند عامل دور يساوي 0.6.
- 3- أوجد التيار الأعظمي والأصغري المار في المفاعلة المستخدمة في الدائرة، اعتبر أن التيار في الحمل غير متقطع.

الحل:

1- دائرة الاستطاعة:

- عندما يعطى القاطع S نبضة القدر خلال الزمن αT تكون الدائرة المكافئة هي المبينة بالشكل (27-a) ويكون التوتر الهابط على المفاعلة مساوياً لتوتر المنبع:

$$V_L = V_S$$

- عندما يكون القاطع في حالة حجز خلال الفترة $(1-\alpha)T$ تكون الدائرة المكافئة حسب الشكل أعلاه، والتوتر الهابط على المفاعلة:

$$V_L = V_S - V_0$$

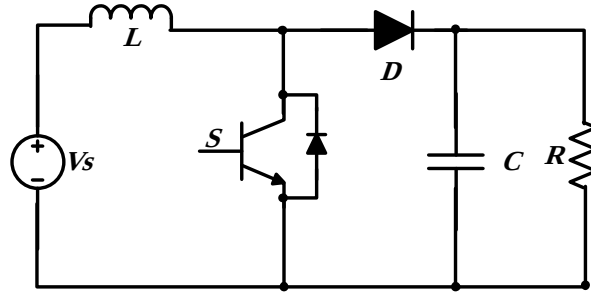
- ٢ - بالنسبة للتوتر والتيار في المفاعلة لهما نفس التغيرات المبينة في الشكل (٢٨).

$$\frac{di}{dt} = ct, \quad \frac{dV}{dt} = c$$

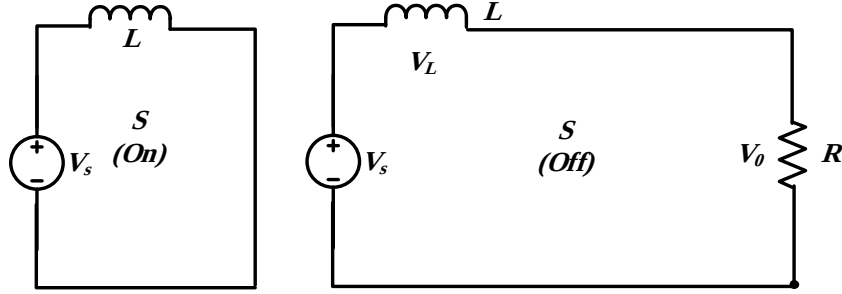
ومنه

$$\int_0^T V_C \cdot dt = 0$$

$$\int_0^{\alpha T} V_S dt + \int_0^{(1-\alpha)T} (V_S - V_0) dt = 0$$



(a)



(b)

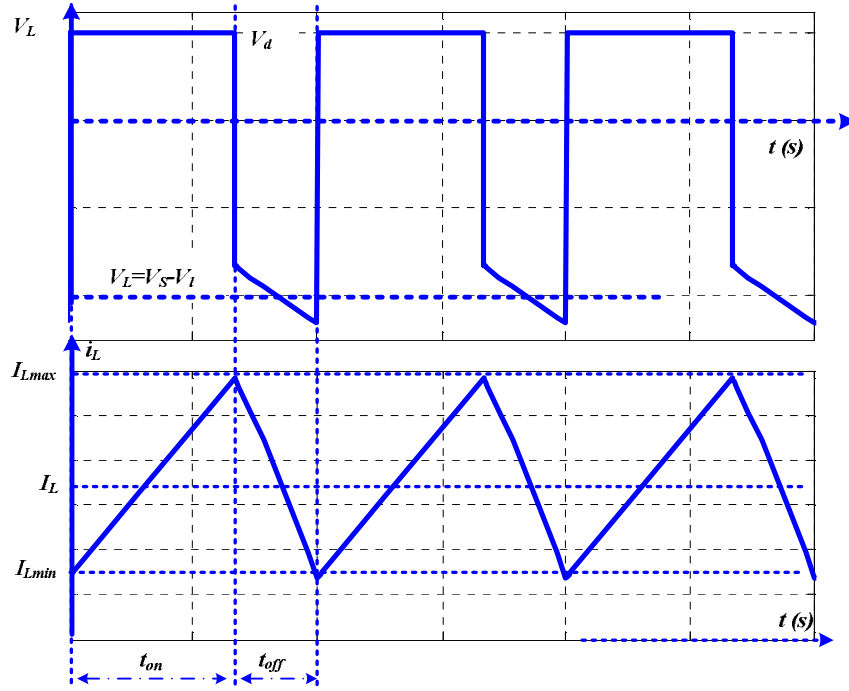
الشكل (27-a) دائرة الاستطاعة، الشكل (27-b) الدارة المكافئة في حالات التشغيل.

ومنه:

$$V_s \alpha T = (V_s - V_0)(1 - \alpha)T = 0$$

$$\Rightarrow V_0 = \frac{V_s}{1 - \alpha} \Rightarrow P_0 = P_s \Rightarrow I_s = I_L = \frac{V_0}{R(1 - \alpha)}$$

$$V_0 = \frac{24}{1 - 0.6} = 60V$$



الشكل (28) تيار الملف وتوتره

3- لدينا

$$I_{L\max} = I_L + \frac{1}{2} \Delta i_L$$

$$I_{L\min} = I_L - \frac{1}{2} \Delta i_L$$

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} \int V_L dt = \frac{1}{L} V_s \alpha T = \frac{V_s - V_0}{L} (1 - \alpha) T$$

ومنه

$$I_{L\max} = \frac{V_0}{R(1-\alpha)} + \frac{1}{2} \frac{1}{L} V_s \alpha T$$

$$I_{L\min} = \frac{V_0}{R(1-\alpha)} - \frac{1}{2} \frac{1}{L} V_s \alpha T$$

نحسب $I_{L\min}$ بجعل $I_{L\min}=0$ نجد:

$$\frac{V_0}{R(1-\alpha)} = \frac{1}{2L} V_0 (1-\alpha) \alpha T$$

ومنه

$$L_{\min} = \frac{R(1-\alpha)^2 \alpha}{2f} = \frac{0.6 \times (0.4)^2 \times 50}{2.25 \times 10^3}$$

$$L_{\min} = 96 \Rightarrow L_{\min} = 96 \mu H$$

نختار:

$$L = 130 \mu H$$

$$I_L = \frac{V_0}{R(1-\alpha)} = 1.5 A;$$

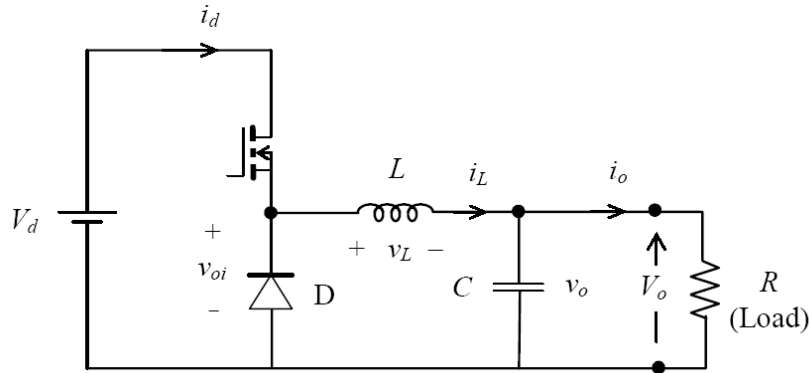
$$\Delta i_L = \frac{V_s \alpha T}{2L} = 2.4 A.$$

$$I_{L \max} = 1.5 + \frac{1}{2} 2.4 = 2.7 A.$$

$$I_{L \min} = 1.5 - \frac{1}{2} 2.4 = 0.3 A.$$

مثال (8):

لدينا دائرة المقطع التسلسلي (Buck Converter):

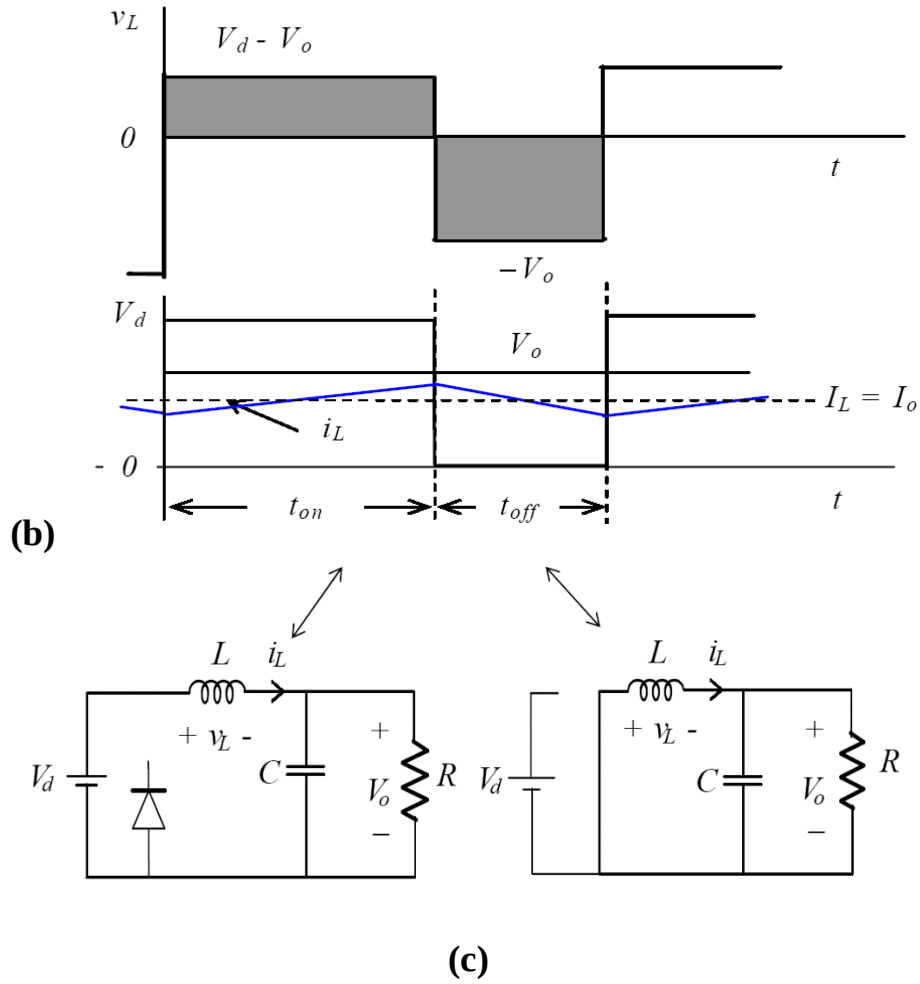


الشكل a-(29) دائرة الاستطاعة،

باعتبار أن:

$$di/dt = c; \quad dv/dt = c.$$

إذا علمت أن فترة توصيل القاطع هي $T_{ON} = D.T$ ، وفترة الحجز هي $T_{OFF} = (1-D)T$ ، المطلوب كتابة معادلات التيار المارة في الملف وحساب تعريخ التيار والتوتر.



b- توتر الملف وتياره. c- الدارة المكافئة.

الحل:

لدينا خلال دور كامل ، هبوط التوتر الوسطي على المفاعلة يساوي الصفر أي خلال الزمن T :

$$\int_0^{T_s} v_L dt = L \int_{i(0)}^{i(T_s)} v_L = 0$$

$$\int_0^{T_{on}} (V_d - V_o) dt + \int_{T_{on}}^{T_s} -V_o dt = 0$$

$$(V_d - V_o)t_{on} = V_o(T_s - t_{on})$$

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_s} = D \Rightarrow V_o = DV_d$$

$$V_d \cdot I_d = V_o \cdot I_o$$

$$\Rightarrow I_d = D \cdot I_o$$

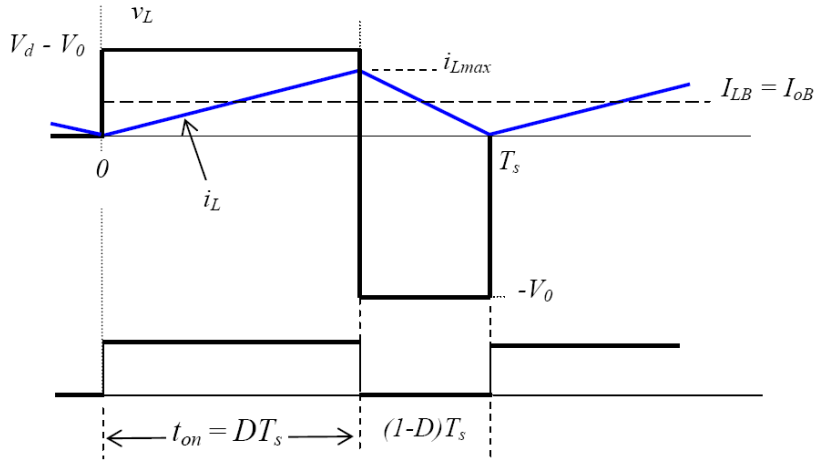
في هذا المقطع لدينا الشروط الحدية للعمل عند تيار غير متقطع:

يبين الشكل (30) حالة العمل عند تيار مستمر بدون تقطيع وعليه فإن تيار المفاعلة الحدي هو:

$$I_{LB} = \frac{1}{2} i_{L \max} = \frac{V_d - V_0}{2L} DT_s = I_{oB}$$

$$I_{LB} = \frac{DT_s}{2L} (V_d - V_0) = \frac{DT_s}{2L} (V_d - DV_d)$$

$$I_{LB} = \frac{V_d T_s}{2L} (1 - D)D$$



الشكل (٣٠) عمل المقطع التسلسلي بدون انقطاع في التيار

تنتج القيم العظمى الحدية لتيار الحمل وتيار المفاعلة عندما $D = 0.5$ وعليه:

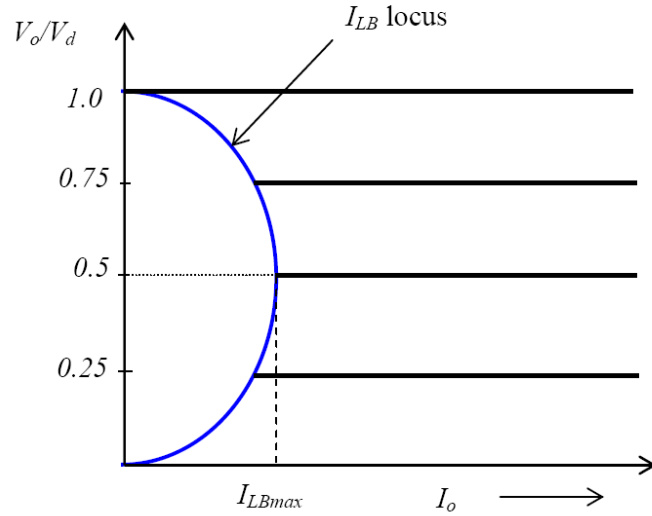
$$I_{LB \max} = \frac{T_s V_0}{8L}$$

$$I_{LB} = 4I_{LB \max} (1 - D)D$$

يبين الشكل (31) كيف تتغير قيمة تيار المفاعلة وتيار الحمل الحدي كتابع لفترة التوصيل. ولدينا:

$$\int_0^{T_s} \frac{v_L}{L} dt = L \int_{i(0)}^{i(T_s)} di = 0$$

$$\frac{(V_d - V_0)}{L} D.T_s - \frac{V_0}{L} (1 - D)T_s = 0$$



الشكل (31) تغير تيار المفاعلة حسب عامل الدور.

والقيمة العظمى والصغرى لتيار المفاعلة هي:

$$i_{L\max} = \frac{V_0}{R} + \frac{1}{2} \Delta i_L = \frac{V_0}{R} + \frac{V_0}{2L} (1-D) T_S$$

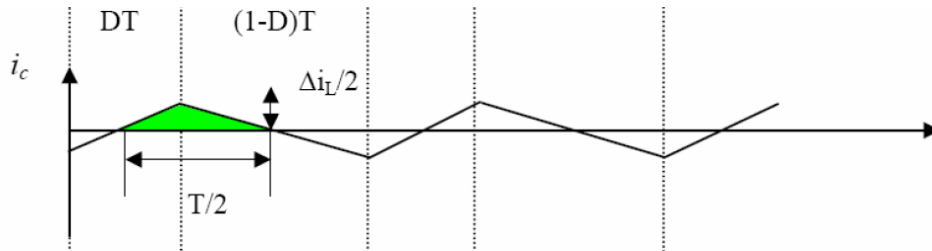
$$i_{L\min} = \frac{V_0}{R} - \frac{1}{2} \Delta i_L = \frac{V_0}{R} - \frac{V_0}{2L} (1-D) T_S$$

نجعل تيار المفاعلة الأصغرى مساوياً للصفر لحساب قيمة المفاعلة الأصغرى التي تجعل التيار المار غير منقطع وعليه:

$$i_{L\min} = 0 \Rightarrow \frac{V_0}{R} - \frac{V_0}{2L} (1-D) T_S = 0$$

$$L f_{S\min} \geq \frac{R(1-D)}{2}$$

لحساب تعريج توتر الخرج، يبين الشكل التالي تغير تيار شحن المكثف:



الشكل (32) تغيرات تيار شحن المكثف.

أي أن التيار الوسطي المار في السعة مساوٍ للصفر وعليه:

$$\Delta v_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \frac{1}{2} \frac{\Delta I_L}{2} \frac{T_s}{2} = \frac{\Delta I_L T_s}{8C}$$

$$\Delta I_L = \frac{V_0}{L} (1-D) T_s$$

$$\Delta v_0 = \frac{T_s}{8C} \frac{V_0}{L} (1-D) T_s$$

إن تعريج التيار يحسب كما يلي:

$$\Rightarrow \frac{\Delta v_0}{V_0} \% = \frac{(1-D)}{8C} \frac{T_s^2}{LC} \%$$

$$CR\% = \frac{\Delta i_L}{I_L}$$

$$I_L = \frac{V_0}{R} = \frac{V_d}{DR}$$

$$\Delta i_L = \frac{V_d}{L} (1-D) T_s$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{\frac{V_d}{L} (1-D) T_s}{\frac{V_d}{DR}}$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{D(1-D)R}{Lf_s} \%$$

مثال (9):

لدينا دائرة المقطع التفرعي (Boost Converter) باعتبار أن $dv/dt = ct$, $di/dt = ct$ إذا علمت أن فترة توصيل القاطع هي $T_{ON} = D.T$. وفترة الحجز هي $T_{OFF} = (1-D)T$, المطلوب كتابة معادلات التيار المارة في المفاعلة وتيار التعريج والديود، قيمة المفاعلة الأصغرية، حساب قيمة السعة اللازمة للحصول على عامل تعريج محدد للجهد.

الحل:

لدينا خلال دور كامل هبوط التوتر الوسطي على المفاعلة يساوي الصفر أي خلال الزمن T :

$$\int_0^{DT} v_L dt = \int_0^{t_{on}} v_L dt + \int_0^{t_{off}} v_L dt = 0$$

$$V_g \times DT + (V_g - V_0)(1 - DT) = 0$$

$$V_0 = \frac{1}{1 - D} V_g$$

$$V_g \cdot I_g = V_0 \cdot I_0$$

$$\Rightarrow I_g = \frac{I_0}{1 - D}$$

في هذا المقطع لدينا

$$I_g = I_L$$

تغير التيار المار في المفاعلة يعطى بالمعادلة:

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} \int_0^{DT} v_L dt$$

أي المساحة المحصورة تحت موجة التوتر الهابط على المفاعلة مقسوماً على قيمة المفاعلة L أي:

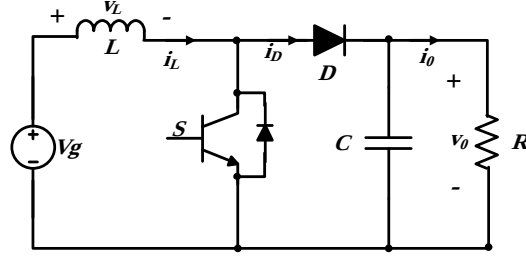
$$\Delta i_L = \frac{1}{L} V_g \times DT$$

وعليه

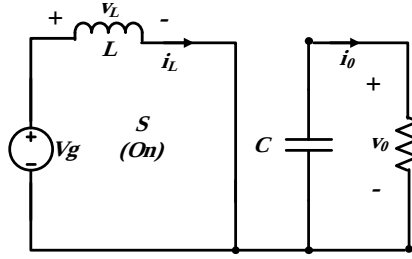
$$I_{L,\max} = I_L + \frac{1}{2} \Delta i_L$$

:

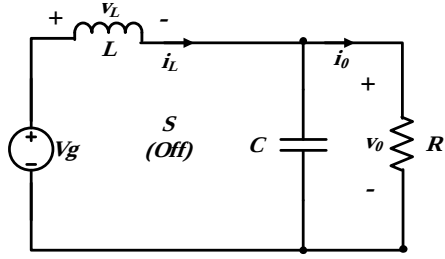
$$I_{L,\min} = I_L - \frac{1}{2} \Delta i_L$$



(a)



(b)



(c)

يمكن حساب

قيمة تيار المفاعلة الوسطي من العلاقة

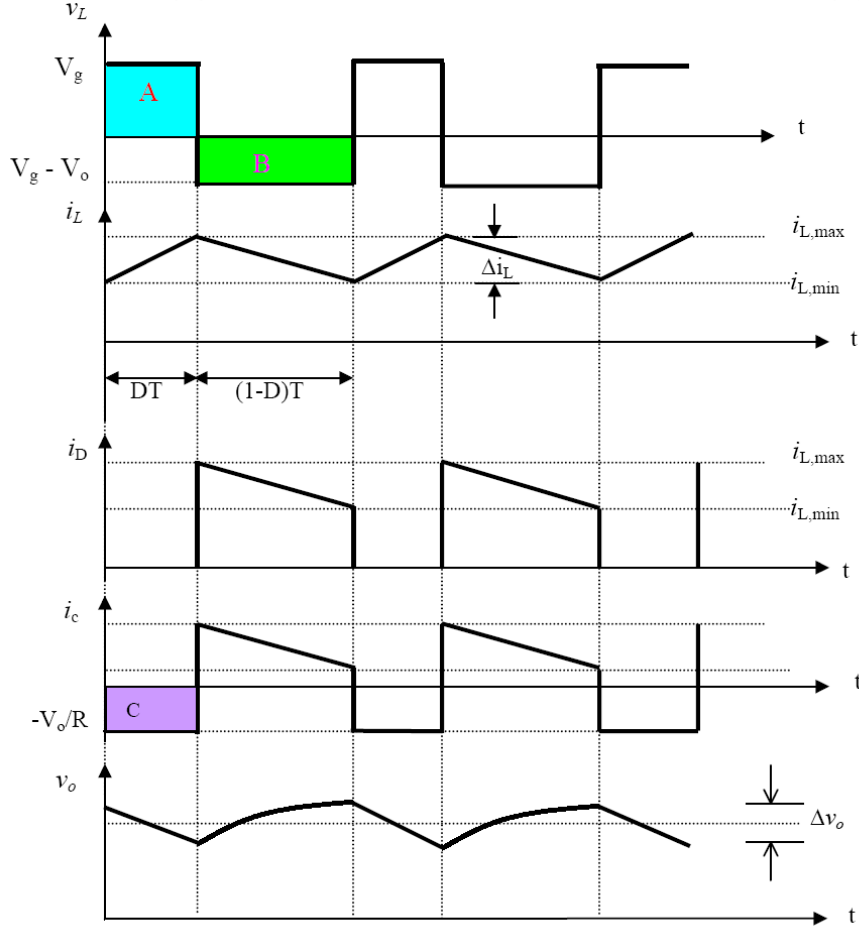
$$I_D = I_0 = (1 - D)I_L \Rightarrow$$

$$I_L = \frac{I_0}{(1 - D)} = \frac{V_0}{(1 - D)R}$$

إن التوتر الهابط على المكثف يتغير أي أن هبوط التوتر Δv_0 يمكن الحصول عليها من خلال

التيار المار في السعة i_C ، حيث أن المساحة المحصورة تحت موجة i_C $\Delta v_0 = \Delta v_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$

تمثل تيار السعة على المفاعلة مقسوماً على قيمة المفاعلة L أي:



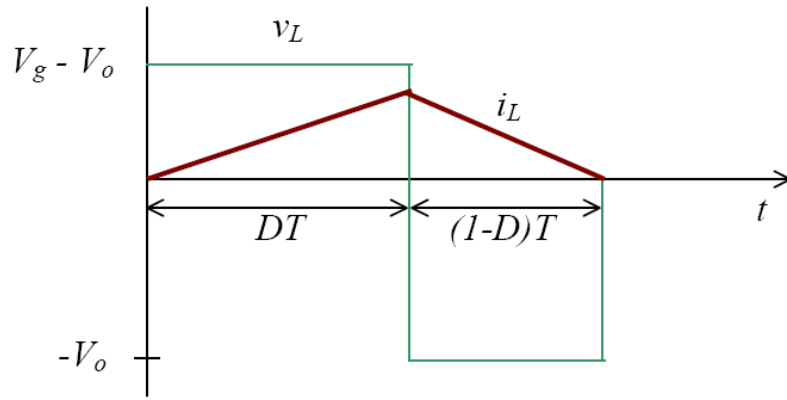
(d)

الشكل a- (47) دائرة الاستطاعة. (b,c) الدارات المكافئة. d- التوترات والتيارات.

$$\Delta v_o = \frac{1}{C} \times \frac{V_o}{R} DT$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta v_o}{V_o} \% = \frac{D}{CRf} \%$$

الحد الفاصل بين شروط استمرار التيار بالمرور وحدوث انقطاع في التيار يمكن تحديده وذلك عندما تصبح قيمة تيار المفاعلة مساوية للصفر في نهاية الدور أي أن التيار المار في المفاعلة يتغير كما هو مبين في الشكل التالي:



الشكل (48) الحالة الحدية لاستمرار تيار الملف.

أي

$$I_L = \frac{1}{2} \Delta i_L$$

في هذا المقطع لدينا

$$I_D = I_0 = \frac{V_0}{R} \Rightarrow$$

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} V_g DT = \frac{1}{L} (V_g - V_0) (1-D) T$$

يمكن من خلال المعادلة السابقة تحديد القيمة الحدية الصغرى لتيار الحمل ولمقاومة الحمل والمفاعلة وتردد عمل المقطع كما يلي

$$I_L = \frac{1}{2} \Delta i_L = \frac{1}{2L} V_g DT$$

$$I_0 = (1-D) I_L \Rightarrow$$

$$\frac{I_0}{1-D} = \frac{1}{2} \Delta i_L = \frac{1}{2L} V_g DT$$

$$\Rightarrow I_{0,\min} = \frac{1}{2L} V_g (1-D) DT$$

$$\Rightarrow I_{0,\min} = \frac{1}{2L} V_0 D (1-D)^2 T$$

$$I_L = \frac{1}{2} \Delta i_L$$

$$\frac{V_0}{R(1-D)} = \frac{1}{2L} V_g \cdot DT = \frac{1}{2L} V_0 (1-D) DT$$

$$\Rightarrow L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 \times DT \times R}{2} = \frac{D(1-D)^2 \times R}{2f}$$

$$\Rightarrow f_{\min} = \frac{D(1-D)^2 \times R}{2L}$$

$$\Rightarrow R_{\min} = \frac{2Lf}{D(1-D)^2}$$

علماً أن حساب أي من القيم السابقة يتم عندما يكون هناك قيمة مجهولة فقط.
إن تعريج التيار يحسب كما يلي

$$CR\% = \frac{\Delta i_L}{I_L}$$

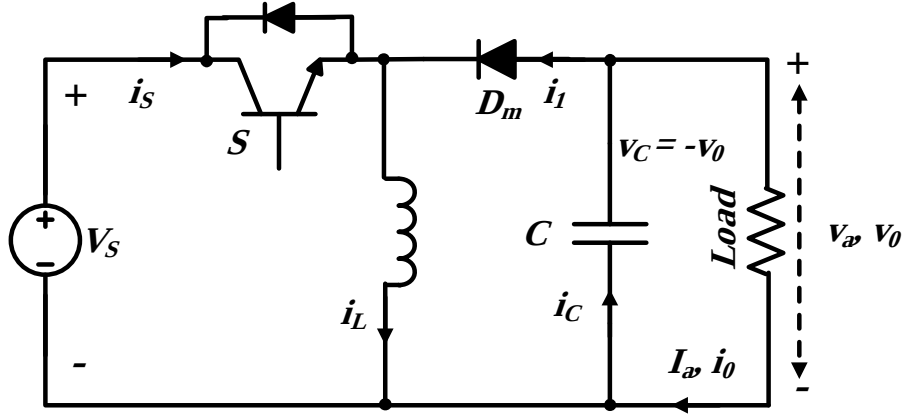
$$\frac{V_0}{(1-D)R} = \frac{1}{L} V_0 (1-D) DT$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{R}{Lf} D(1-D)^2 \%$$

مثال (10):

هذا المقطع يمكنه أن يقدم توتر خرج أصغر أو أكبر من توتر الدخل. قطبية توتر الخرج معاكسة لقطبية توتر الدخل. الشكل (55-a) يوضح دائرة الاستطاعة. والأشكال (b) و (c) توضح الدائرة المكافئة خلال مرحلتي العمل Mode1 و Mode2 وكذلك أشكال التوترات والتيارات في مختلف عناصر المقطع.

- خلال فترة تشغيل القاطع Q_1 ، الديود D_m يكون في حالة حيز قسري. تيار الدخل يتزايد عبر الممانعة L و Q_1 . وهي المرحلة الأولى. خلال المرحلة الثانية تعمل على حيز Q_1 لكن التيار الذي كان ماراً في الحثية L سوف لن يتوقف، لذا سوف يتابع المرور عبر $(L$ و C و D_m والحمل). القدرة التي تم تخزينها في الملف L سوف تحول وتنتقل للحمل لذا سوف يتناقص تيار الملف حتى نعود ونعمل على تشغيل القاطع Q_1 بدور جديد.



الشكل (55-a) دائرة الاستطاعة للمقطع العكسي.

- بفرض أن تيار الملف يتزايد بشكل خطي من القيمة I_1 حتى I_2 خلال الزمن t_1 :

$$V_s = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \dots \dots \dots (1)$$

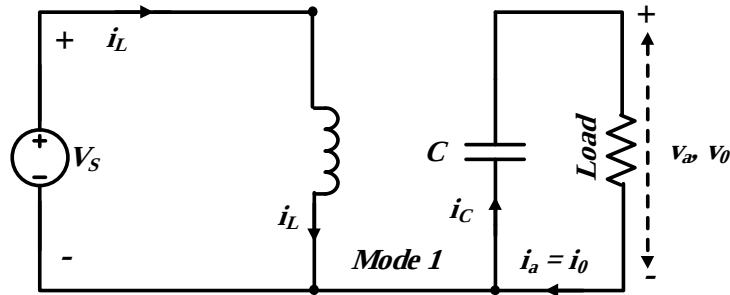
$$t_1 = \frac{\Delta I \times L}{V_s} \dots \dots \dots (2)$$

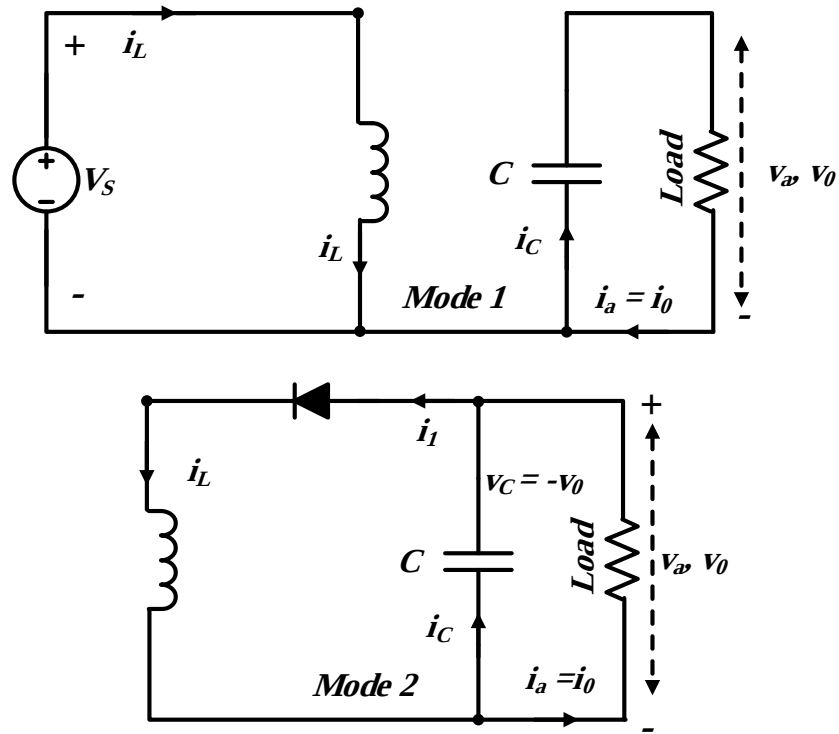
لدى فتح القاطع Q_1 . تيار الملف يتناقص من I_2 إلى I_1 خلال الزمن t_2 :

$$V_a = -L \frac{\Delta I}{t_2} \dots \dots \dots (3)$$

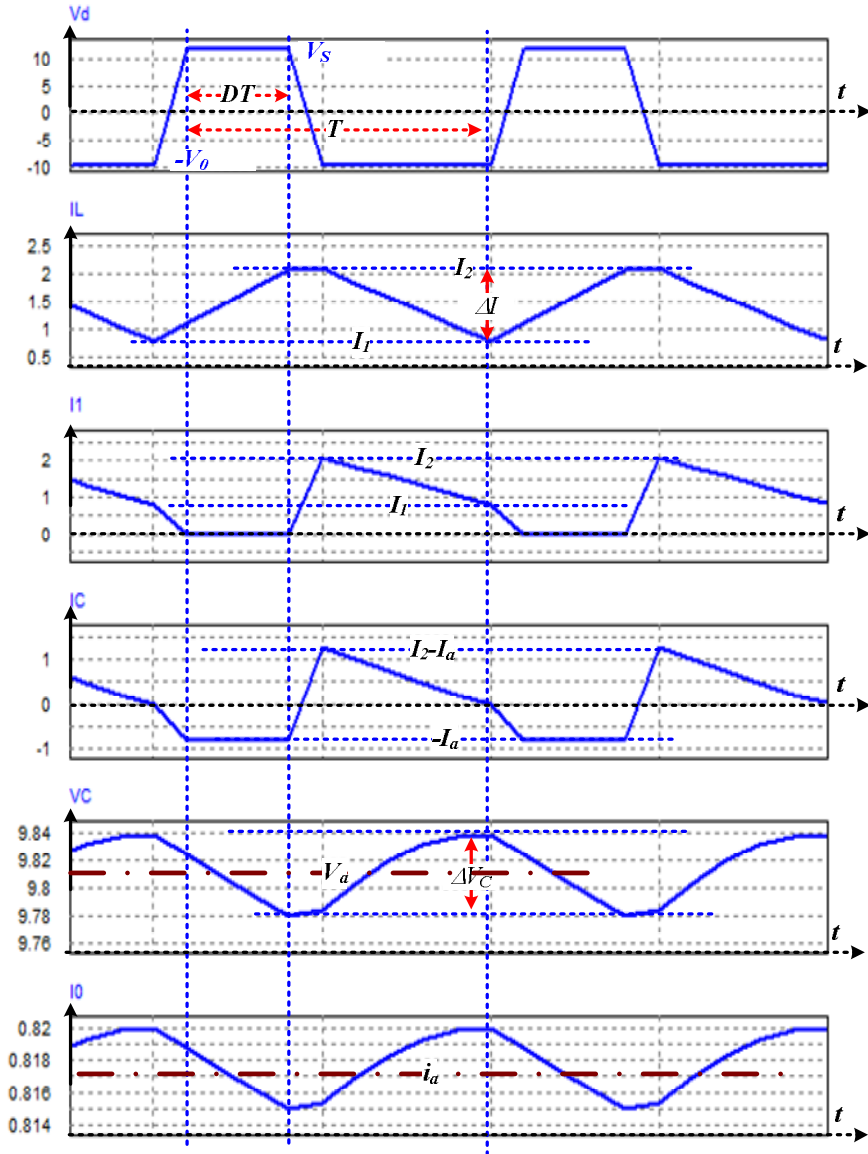
$$t_2 = \frac{-\Delta I \cdot L}{V_a} \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta I = I_2 - I_1$$





الشكل (55-b) الدارات المكافئة خلال كلا فترتي التشغيل.



الشكل (55-c) أمواج التوتر والتيار لعناصر المقطع العكسي.

من العلاقة (1) و (3) لدينا:

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot t_1}{L} = \frac{-V_a \cdot t_2}{L}$$

بالتعويض عن $t_1 = D \cdot T$ وعن $t_2 = (1-D)T$ فإن التوتر المتوسط للخرج سيكون:

$$V_a = \frac{-V_s \cdot D}{1-D} \dots \dots \dots (5)$$

ومنه

$$\frac{V_a}{V_s} = \frac{D}{1-D} \dots \dots \dots (6)$$

بالتعويض عن $t_1=DT$ و $t_2=(1-D)T$ بالعلاقة (6) نجد:

$$\frac{V_a}{V_s} = \frac{t_1/T}{\left(1 - \frac{t_1}{T}\right)} = \frac{t_1}{T + t_1} = \frac{t_1}{\frac{1}{F} + t_1}$$

$$V_a \left(\frac{1}{F} + t_1 \right) = V_s \cdot t_1$$

$$\frac{V_a}{F} + V_a t_1 = V_s t_1$$

$$\frac{V_a}{F} = t_1 (V_s - V_a)$$

$$t_1 = \frac{V_a}{(V_s - V_a)F} \dots\dots\dots (6)$$

- بفرض عدم وجود مفاويز في الدارة، لذا فإن:

$$V_s \cdot I_s = -V_a \cdot I_a = V_s \cdot I_a \frac{D}{(1-D)}$$

القيمة المتوسطة لتيار الدخل I_s مرتبطة بالقيمة المتوسطة لتيار الخرج I_a بالعلاقة:

$$I_s = \frac{I_a \cdot D}{1-D} \dots\dots\dots (7)$$

- يمكن تحديد دور التقطيع T من العلاقة التالية:

$$T = \frac{1}{F} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I \cdot L}{V_s} + \frac{\Delta I \cdot L}{V_a} = \frac{\Delta I \cdot L (V_a - V_s)}{V_s \cdot V_a} \dots\dots\dots (8)$$

من العلاقة أعلاه نحدد التعرجات العظمى للتيار:

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot V_a}{F \cdot L \cdot (V_a - V_s)} \dots\dots\dots (9)$$

أو أن:

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot D}{F \cdot L} \dots\dots\dots (10)$$

عندما يوصل الترانزستور Q_1 ، يقوم مكثف المرشح بتقديم تيار الحمل خلال الفترة $t=t_1$. متوسط تيار التفريغ للمكثف هو $I_C=I_a$ وتعرجات التوتر العظمى للمكثف تحسب بالشكل:

$$\Delta V_C = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_C dt = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_a \cdot dt = \frac{I_a \cdot t_1}{C} \dots\dots\dots (11)$$

بالتعويض عن $t_1 = \frac{V_a}{(V_a - V_s).F}$ أعلاه نجد:

$$\Delta V_C = \frac{I_a.V_a}{(V_a - V_s).F.C} \dots\dots\dots(12)$$

$$\Delta V_C = \frac{I_a.D}{F.C} \dots\dots\dots(13)$$

- شروط العمل عند تيار مستمر في المفاعلة (inductor) وتوتر المكثف:

إذا كان I_L التيار المتوسط للمفاعلة، فإن تعرجات تيار الممانعة $\Delta I = 2I_L$ وبالاكتفاء على العلاقة

$$\Delta I = \frac{V_s.D}{F.L} \text{ والعلاقة } \left(V_a = \frac{V_s.D}{1-D} \right) \text{ نجد:}$$

$$\frac{V_s.D}{F.L} = 2I_L = 2I_a = \frac{2D.V_s}{(1-D).R}$$

ومنه نجد قيمة الحثية الحرجة للملف:

$$L_C = L = \frac{(1-D).R}{2.F} \dots\dots\dots(14)$$

إذا كانت V_C هي القيمة المتوسطة لتوتر المكثف، فإن تعرجات توتر المكثف $\Delta V_C = 2V_a$ باكتفاء العلاقات (13)، نجد:

$$\frac{I_a.D}{F.C} = 2V_a = 2I_a.R$$

ومنه فإن السعة الحرجة:

$$C_C = C = \frac{D}{2.F.R} \dots\dots\dots(15)$$

تطبيق (11):

المطلوب إيجاد التيارات والتوتر في المقطع العكسي:

إذا كان دخل المقطع العكسي في الشكل $V_s=12V$ (a-55)، عامل الدور $K=0.25$ وتردد التقطيع

$25KHz$. المفاعلة ذات حثية $L=150\mu H$. وسعة مكثف المرشح $C=220\mu F$. وتيار الحمل

المتوسط $I_a=1.25A$. حدد مايلي:

a- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج.

b- تعرجات التوتر العظمى (قمة-قمة) للمكثف أو للخرج ΔV_C .

c- تعرجات التيار العظمى (قمة-قمة) للملف (مفاعلة) ΔI .

- d- التيار الأعظمي المار في الترانزستور I_p .
e- القيم الحرجة الحدية للملف L وللمكثف C .

الحل:

a- باعتماد العلاقة رقم (5)

$$V_a = \frac{V_s \cdot D}{1 - D}$$

نجد:

$$V_a = \frac{12 \times 0.25}{(1 - 0.25)} = -4V$$

b- باعتماد العلاقة رقم (13)

$$\Delta V_C = \frac{I_a \cdot D}{F \cdot C}$$

$$\Delta V_C = \frac{1.25 \times 0.25}{25000 \times 220 \times 10^{-6}} = 56.8mV$$

c- باعتماد العلاقة رقم (10)

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot D}{F \cdot L}$$

نجد تعرجات التيار العظمى للملف:

$$\Delta I = \frac{12 \times 0.25}{25000 \times 150 \times 10^{-6}} = 0.8A$$

d- من العلاقة (7):

$$I_s = \frac{I_a \cdot D}{1 - D}$$

نجد أن:

$$I_s = \frac{1.25 \times 0.25}{(1 - 0.25)} = 0.4167A$$

بما أن I_s هو متوسط التيار لفترة DT ، فإن التيار الأعظمي للترانزستور سيكون:

$$I_p = \frac{I_s}{D} + \frac{\Delta I}{2} = \frac{0.4167}{0.25} + \frac{0.8}{2} = 2.067A$$

e- يمكن حساب مقاومة الحمل بالعلاقة:

$$R = \frac{V_a}{I_a} = \frac{4}{1.25} = 3.2\Omega$$

- من العلاقة (14)

$$L_C = \frac{(1-D)R}{2.F}$$

نجد

$$L_C = \frac{(1-0.25) \times 3.2}{2 \times 25000} = 450 \mu H$$

- من العلاقة (15)

$$C_C = \frac{D}{2.F.R}$$

$$C_C = \frac{0.25}{2 \times 25000 \times 3.2} = 1.56 \mu F$$

مثال (12)

لدينا دائرة المقطع التسلسلي التفرعي Buck- Boost Converter

باعتبار أن: $dv/dt = c$, $di/dt = c$

إذا علمت أن فترة توصيل القاطع هي $T_{ON}=D.T$ ، وفترة الحجز هي $T_{OFF}=(1-D)T$ ، المطلوب كتابة معادلات التيار التي تمر في المفاعلة وتعريج التيار وتيار الديود، قيمة المفاعلة الأصغرية، حساب قيمة السعة اللازمة للحصول على عامل تعريج محدد للجهد.

الحل:

لدينا خلال دور كامل فإن هبوط التوتر الوسطي على المفاعلة يساوي الصفر أي خلال الزمن T

$$v_L = \int_0^{DT} v_L dt = \int_0^{t_{on}} v_L dt + \int_0^{t_{off}} v_L dt = 0$$

$$V_g DT + (-V_0)(1-DT) = 0$$

$$V_0 = \frac{D}{1-D} V_g$$

$$V_g I_g = V_0 I_0 = \frac{DV_g}{1-D} I_0$$

$$\Rightarrow I_g = \frac{D}{1-D} I_0$$

في هذا المقطع لدينا

$$I_L = I_g + I_0$$

تعطى تغيرات التيار المار في المفاعلة بالمعادلة:

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} V_g \times DT$$

وعليه

$$I_{L,\max} = I_L + \frac{1}{2} \Delta i_L$$

$$I_{L,\min} = I_L - \frac{1}{2} \Delta i_L$$

يمكن حساب قيمة تيار المفاعلة الوسطي من العلاقة:

$$I_D = I_0 = (1-D)I_L \Rightarrow I_L = \frac{I_0}{1-D} = \frac{V_0}{(1-D)R}$$

إن التوتر الهابط على المكثفة يتغير أي أن هبوط التوتر Δv_0 يمكن الحصول عليها من خلال التيار المار في السعة i_C حيث

$$\Delta v_0 = \Delta v_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$$

أي المساحة المحصورة تحت موجة تيار السعة على المفاعلة مقسوماً على قيمة المفاعلة L أي

$$\Delta v_0 = \frac{1}{C} \times \frac{V_0}{R} \times DT \Rightarrow \frac{\Delta v_0}{V_0} \% = \frac{1}{CR} DT \% = \frac{D}{CRf} \%$$

الحد الفاصل بين شروط استمرار التيار بالمرور وحدث انقطاع في التيار يمكن تحديده وذلك عندما تصبح قيمة تيار المفاعلة مساوية للصفر نهاية الدور أي أن التيار المار في المفاعلة يتغير كما هو مبين في الشكل (٦٠).

أي

$$I_L = \frac{1}{2} \Delta i_L$$

في هذا المقطع لدينا

$$I_D = I_0(1-D)I_L = \frac{V_0}{R} \Rightarrow$$

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} V_g DT = \frac{1}{L} V_0(1-D)T$$

يمكن من خلال المعادلة السابقة تحديد القيم الحدية الصغرى لتيار الحمل والمفاعلة وتردد عمل المقطع كمايلي:

$$I_L = \frac{1}{2} \Delta i_L$$

$$I_0 = (1 - D) I_L \Rightarrow$$

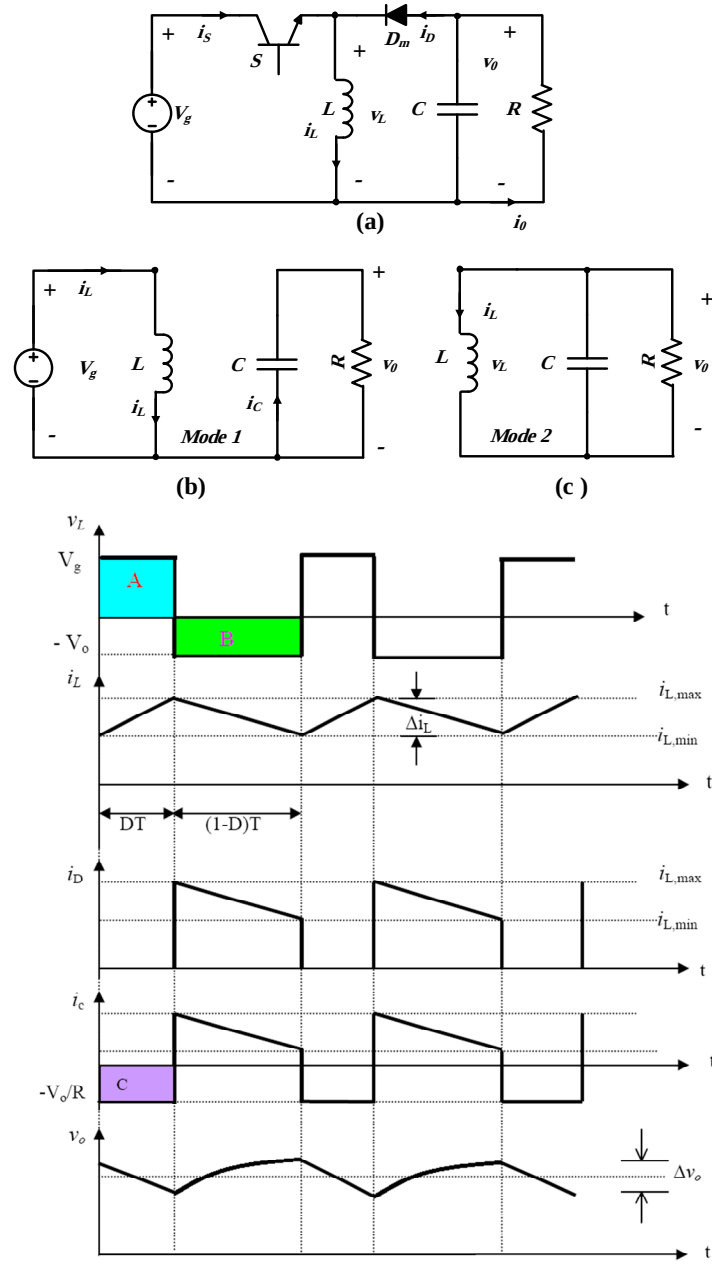
$$I_L = \frac{I_0}{(1 - D)}$$

$$\frac{I_0}{(1 - D)} = \frac{1}{2L} V_0 (1 - D) T$$

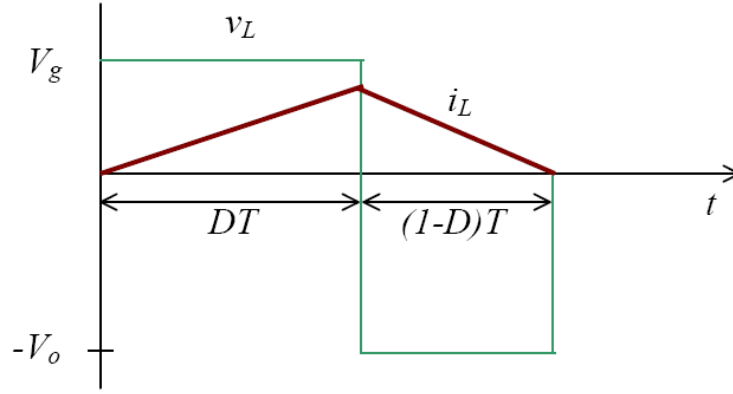
$$\Rightarrow I_{0,\min} = \frac{1}{2L} V_0 (1 - D)^2 T$$

$$I_L = \frac{1}{2} \Delta i_L$$

$$\frac{V_0}{(1 - D) R} = \frac{1}{2L} V_0 (1 - D) T$$



الشكل (60) - دائرة الاستطاعة. - الدارات المكافئة. - التوترات والتيارات



الشكل (61) التيار الحدي كتابع لعامل الدور.

$$\Rightarrow L_{\min} = \frac{(1-d)^2 T \times R}{2} = \frac{(1-D)^2 R}{2f}$$

$$\Rightarrow f_{\min} = \frac{(1-D)^2 \times R}{2L}$$

$$\Rightarrow R_{\min} = \frac{2Lf}{(1-D)^2}$$

علماً أن حساب أي من القيم السابقة يتم عندما يكون هناك قيمة مجهولة فقط.

إن تعريج التيار يحسب كمايلي:

$$CR\% = \frac{\Delta i_L}{I_L}$$

$$\frac{V_0}{(1-D)R} = \frac{1}{L} V_0 (1-D)T$$

$$\Rightarrow CR\% = \frac{R}{Lf} (1-D)^2$$

مثال (13):

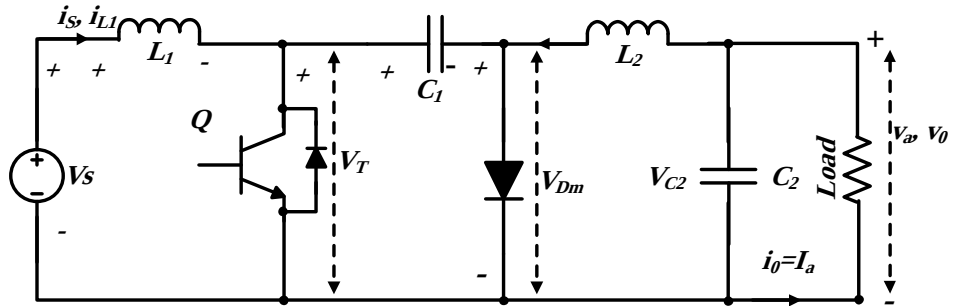
هذا المقطع (CŪK) مشابه للمقطع غير المباشر العكسي ذي التخزين بالملف أو الرفع- الخافض للتوتر، يستطيع أيضاً إعطاء توتر في الخرج قد يكون أصغر أو أكبر من توتر الدخل، مع قطبية معكوسة عن توتر الدخل. وقد أخذ هذا الاسم تبعاً للعالم الذي اخترعه.

عند تطبيق توتر الدخل، وكون الترانزستور Q_1 مفصلاً. الديود D_m يكون منحازاً باتجاه أمامي وسوف يمر تيار لشحن المكثف C_1 عبر L_1 و D_m انطلاقاً من المنبع (الشكل (٧٢)).

- عمل الدارة يقسم إلى مرحلتين: Mode1 يبدأ عند توصيل الترانزستور Q_1 عند الزمن $t=0$. التيار في المفاعلة L_1 سوف يتزايد. وتوتر المكثف C_1 سوف يحجز الديود D_m لذا سيكون مفصلاً (Off). المكثف C_1 يفرغ شحنته في الدارة المكونة من C_1 و C_2 ، والحمل، و L_2 . هنا سيمر تيار في الترانزستور يمثل تيار قصر المنبع وتيار تفريغ المكثف C_1 .

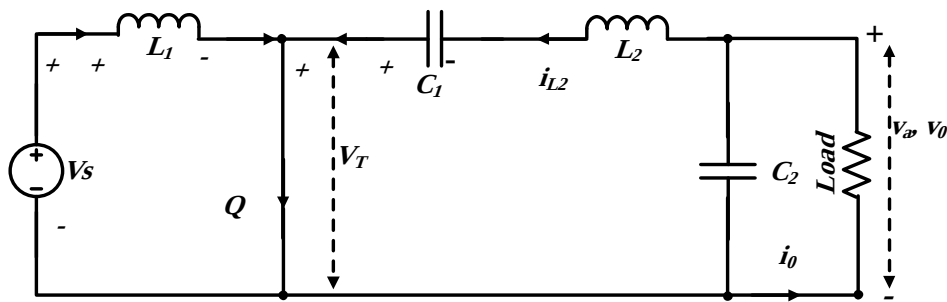
- المرحلة الثانية من التشغيل Mode2 تبدأ فور فصل الترانزستور Q_1 عند الزمن $t=t_1$. سوف يشحن المكثف C_1 من المنبع، والقدرة التي كانت مخزنة في L_1 سوف تنتقل للحمل. الديود D_m سيكون بالتأكيد موصلاً، وهو يشكل مع Q_1 دائرة متزامنة أحدهما موصل والآخر حاجز.

المكثف C_1 هو الوسيط لنقل القدرة من المنبع إلى الحمل. الأشكال أدناه (73) توضح الدارات المكافئة لحالات التشغيل والتوترات والتيارات المارة في كل مرحلة.

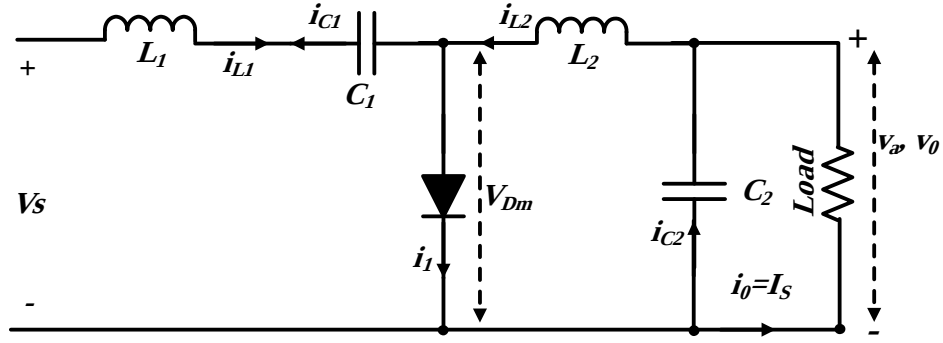


شكل (72) دارة

الاستطاعة للمقطع العكسي ذي المجمع السعوي CUK.



Mode1 -a (Q_1 موصل - D_m حاجز) - تفريغ المكثف C_1 وتخزين قدرة في L_1 .



-b Mode2 الديود D_m موصل والترانزستور $Q1$ حاجز.

حالة شحن المكثف C_1 وتفريغ قدرة L_1 .

الشكل (73) الدارات المكافئة.

- بفرض أن التيار في المفاعلة (الملف) L_1 يتزايد خطياً خلال الزمن t_1 من I_{L11} إلى I_{L12} وعليه:

$$V_s = L_1 \frac{I_{L12} - I_{L11}}{t_1} = L_1 \frac{\Delta I}{t_1} \dots \dots \dots (1)$$

أو أن:

$$t_1 = \frac{\Delta I_1 \times L_1}{V_s} \dots \dots \dots (2)$$

- خلال الزمن t_2 ونتيجة شحن المكثف C_1 ، تيار الملف L_1 يتناقص خطياً من I_{L12} إلى I_{L11} .

$$V_s - V_{C1} = -L_1 \frac{\Delta I_1}{t_2} \dots \dots \dots (3)$$

أو أن:

$$t_2 = \frac{-\Delta I_1 \times L_1}{V_s - V_{C1}} \dots \dots \dots (4)$$

حيث أن التوتر V_{C1} هو التوتر المتوسط للمكثف C_1 وإن

$$\Delta I_1 = I_{L12} = I_{L11}$$

من العلاقة (1) و (3) نجد:

$$\Delta I_1 = \frac{V_s \cdot t_1}{L_1} = \frac{-(V_s - V_{C1}) t_2}{L_1}$$

بالتعويض عن $t_1 = DT$ وعن $t_2 = (1-D)T$. فإن التوتر المتوسط للمكثف C_1 سيكون:

$$V_{C1} = \frac{V_s}{1 - D} \dots \dots \dots (5)$$

- بفرض أن تيار ملف المرشح L_2 تزايد بشكل خطي من I_{L21} إلى I_{L22} خلال الزمن t_1 .
وعليه:

$$V_{C1} + V_a = L_2 \frac{I_{L22} - I_{L21}}{t_1} = L_2 \frac{\Delta I_2}{t_1} \dots\dots\dots (6)$$

ومنه فإن:

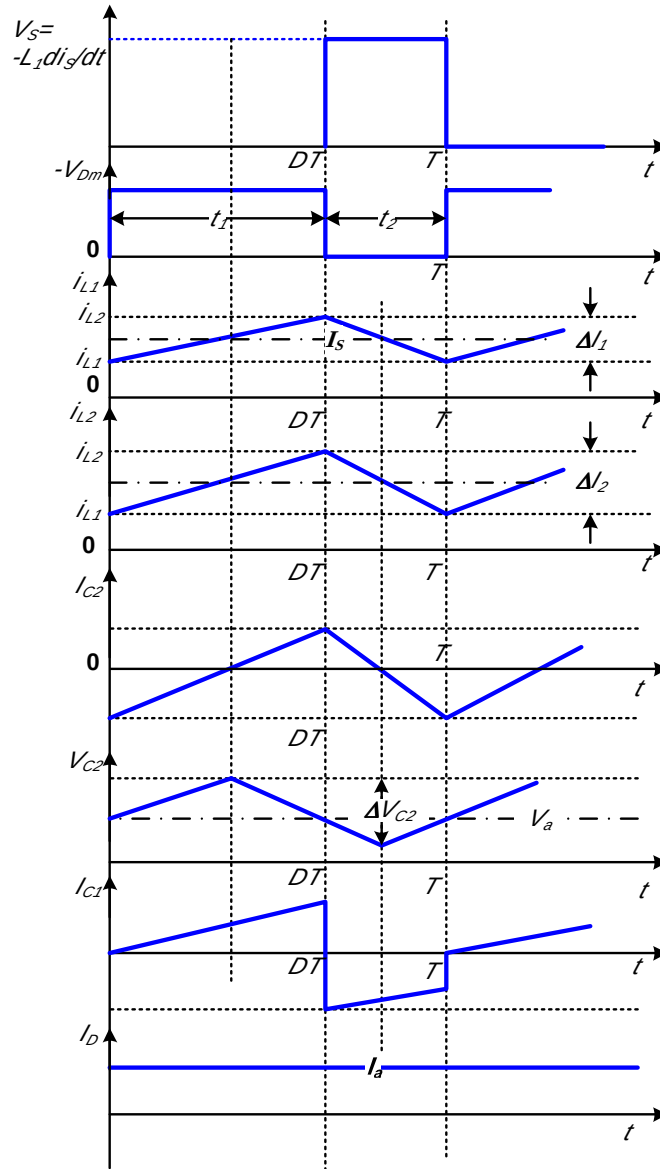
$$t_1 = \frac{\Delta I_2 \times L_2}{V_{C1} + V_a} \dots\dots\dots (7)$$

وتيار الملف L_2 يتناقص خطياً من I_{L22} إلى I_{L21} خلال الزمن t_2 وعليه:

$$V_a = -L_2 \frac{\Delta I_2}{t_2} \dots\dots\dots (8)$$

أو أن:

$$t_2 = \frac{\Delta I_2 \times L_2}{V_a} \dots\dots\dots (9)$$



الشكل (74) تغيرات التوترات والتيارات في الزمن.

حيث أن:

$$\Delta I_2 = I_{L22} - I_{L21}$$

ومن العلاقات (6) و (8)

$$\Delta I_2 = \frac{(V_{C1} + V_a)t_1}{L_2} = \frac{V_a.t_2}{L_2}$$

بالتعويض عن t_1 و t_2 فإن القيمة المتوسطة لتوتر المكثف C_1 هو:

$$V_{C1} = \frac{V_a}{D} \dots \dots \dots (10)$$

بمساواة العلاقات (5) و (10) نجد القيمة المتوسطة لتوتر الخرج حيث:

$$\frac{V_s}{1-D} = \frac{V_a}{D} \Rightarrow V_a = \frac{DV_s}{1-D} \dots\dots\dots(11)$$

ومنه

$$D = \frac{V_a}{V_a - V_s} \dots\dots\dots(12)$$

و

$$1-D = \frac{V_s}{V_s - V_a} \dots\dots\dots(13)$$

- بفرض عدم وجود مفايد في الدارة، يمكن القول أن:

$$V_s \cdot I_s = -V_a \cdot I_a = \frac{V_s \cdot I_a \cdot D}{1-D}$$

ومنه فإن متوسط تيار الدخل:

$$I_s = \frac{D \cdot I_a}{1-D} \dots\dots\dots(14)$$

- دور التقطيع T يمكن إيجاده من العلاقات (2) و (4):

$$T = \frac{1}{F} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I_1 \times L_1}{V_s} - \frac{\Delta I_1 \times L_1}{V_s - V_{C1}} = \frac{-\Delta I_1 \cdot L_1 \cdot V_{C1}}{V_s (V_s - V_{C1})} \dots\dots\dots(15)$$

من هذه العلاقة نحدد التعرجات العظمى لتيار المفاعلة L_1 بالشكل:

$$\Delta I_1 = \frac{-V_s (V_s - V_{C1})}{F \cdot L_1 \cdot V_{C1}} \dots\dots\dots(16)$$

أو:

$$\Delta I_1 = \frac{V_s \cdot D}{F \cdot L_1} \dots\dots\dots(17)$$

- دور التقطيع T يمكن أيضاً إيجاده من العلاقة (7) و (9):

$$T = \frac{1}{F} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I_2 \times L_2}{V_{C1} + V_a} - \frac{\Delta I_2 \times L_2}{V_a} = \frac{-\Delta I_2 \times L_2 \times V_{C1}}{V_a (V_{C1} + V_a)} \dots\dots\dots(18)$$

تعرجات تيار الملف L_2 حيث:

$$\Delta I_2 = \frac{-V_a (V_{C1} + V_a)}{F \times L_2 \times V_{C1}} \dots\dots\dots(19)$$

أو:

$$\Delta I_2 = \frac{-V_a(1-D)}{F.L_2} = \frac{D.V_s}{F.L_2} \dots\dots\dots(20)$$

عند فصل Q_1 ، مكثف التخزين وتحويل القدرة C_1 ، سوف يشحن بتيار الدخل خلال الزمن $t=t_1$. متوسط تيار الشحن للمكثف C_1 هو $I_{C1}=I_s$ ، والقيمة العظمى لتعرجات توتر المكثف C_1 تعطى بالعلاقة:

$$\Delta V_{C1} = \frac{1}{C_1} \int_0^{t_2} I_{C1} dt = \frac{1}{C_1} \int_0^{t_2} I_s .dt = \frac{I_s .t_2}{C_1} \dots\dots\dots(21)$$

العلاقات (13) تعطي:

$$t_2 = \frac{V_s}{(V_s - V_a)F}$$

وعليه فالعلاقة (21) تصبح:

$$\Delta V_{C1} = \frac{I_s .V_s}{(V_s - V_a)F .C_1} \dots\dots\dots(22)$$

أو:

$$\Delta V_{C1} = \frac{I_s(1-D)}{F.C_1} \dots\dots\dots(23)$$

- إذا فرضنا أن تعرجات تيار الحمل Δi_0 مهمة، فإن

$$\Delta i_{L2} = \Delta i_{C2}$$

تيار الشحن المتوسط للمكثف C_2 ، والذي يمر خلال $\frac{T}{2}$ هو $I_{C2} = \frac{\Delta I_2}{4}$

وأن أقصى تعرجات لتوتر المكثف C_2 هو:

$$\Delta V_{C2} = \frac{1}{C_2} \int_0^{T/2} I_{C2} dt = \frac{1}{C_2} \int_0^{T/2} \frac{\Delta I_2}{4} dt = \frac{\Delta I_2}{8F.C_2} \dots\dots\dots(24)$$

أو

$$\Delta V_{C2} = \frac{V_a(1-D)}{8.C_2.L_2.F^2}$$

$$\Delta V_{C2} = \frac{DV_s}{8.C_2.L_2.F^2} \dots\dots\dots(24)$$

- شروط استمرارية تيار الملف وتوتر المكثف:

إذا كان التيار I_{L1} هو متوسط تيار الملف L_1 ، فإن تعرجات تيار الملف $\Delta I_1 = 2I_{L1}$. باعتماد العلاقة (14) و (17) نجد أن:

$$\frac{V_s}{F.L_1} = 2I_{L1} = 2I_s = \frac{2DI_a}{1-D} = 2\left(\frac{D}{1-D}\right)^2 \frac{V_s}{R}$$

وهذا يعطي القيمة الحرجة، الحدية للحثية L_{C1} وهي:

$$L_{C1} = L_1 = \frac{(1-D)^2.R}{2.D.F} \dots\dots\dots(26)$$

- إذا كان I_{L2} هو متوسط التيار للمفاعلة L_2 ، فإن تعرجات المفاعلة $\Delta I_1 = 2I_{L2}$ وباعتماد العلاقات (11) و (20) نحصل على:

$$\frac{D.V_s}{F.L_2} = 2I_{L2} = 2I_a = \frac{2V_a}{R} = \frac{2D.V_s}{(1-D)R}$$

مما يعطينا القيمة الحرجة الحدية L_{C2} وهي:

$$L_{C2} = L_2 = \frac{(1-D).R}{2.F} \dots\dots\dots(27)$$

إذا كان V_{C1} هو التوتر المتوسط للمكثف، فإن تعرجات التوتر $\Delta V_{C1} = 2V_a$ باعتماد العلاقات $\Delta V_{C1} = 2V_a$ وتعويضها في العلاقة (22) نحصل على:

$$\frac{I_s(1-D)}{F.C_1} = 2.V_a = 2I_a.R$$

وبعد التعويض عن I_s نحصل على القيمة الحدية للمكثف C_{C1} وهي:

$$C_{C1} = C_1 = \frac{D}{2.F.R} \dots\dots\dots(28)$$

إذا كانت V_{C2} القيمة المتوسطة لتوتر المكثف، فإن تعرجات التوتر:

$\Delta V_{C2} = 2V_a$ وباعتماد العلاقات (11) و (25) نحصل على:

$$\frac{D.V_s}{8C_2L_2.F^2} = 2.V_a = \frac{2D.V_s}{1-D}$$

والتي بعد التعويض عن L_2 من العلاقة (27) نحصل على السعة الحدية للمكثف C_{C2} وهي:

$$C_{C2} = C_2 = \frac{1}{8.F.R} \dots\dots\dots(29)$$

- المقطع CUK، يعتمد على القدرة المحولة من المكثف. وعليه فإن تيار الدخل مستمر. عند وصل القاطع Q_1 ، عليه أن يحمل تيار الملف L_1 و L_2 ، وهذا يسبب مرور تيار كبير في الترانزستور Q_1 .

بما أن المكثف هو الذي يحول القدرة، فإن تعرجات تيار المكثف C_1 ستكون كبيرة. مثل هذه الدارة تحتاج إلى مكثف وملف إضافيين.

14- تطبيق: إيجاد التيارات والتوترات في المقطع السعوي (ذي التحريض السعوي):

في دارة الاستطاعة المبينة بالشكل (72) إذا كان $V_s=12V$. عامل الدور $D=0.25$ تردد التقطيع $25KHz$. حثية المرشح $L_2=150\mu H$ ، والسعة $C=220\mu F$.

مكثف تحويل القدرة $C_1=200\mu F$ والحثية $L_1=180\mu H$. تيار الحمل المتوسط $I_a=1.25A$ حدد ما يلي:

a- توتر الخرج المتوسط V_a .

b- تيار الدخل المتوسط I_s .

c- تعرجات التيار ΔI_1 العظمى للملف L_1 .

d- تعرجات التوتر ΔV_{C1} العظمى للمكثف C_1 .

e- تعرجات التيار ΔI_2 العظمى للملف L_2 .

f- تعرجات التوتر ΔV_{C2} العظمى للمكثف C_2 .

g- التيار الأعظمي للترانزستور I_p .

الحل:

a- من العلاقة:

$$V_a = \frac{D.V_s}{1-D}$$

نجد:

$$V_a = \frac{-0.25 \times 12}{1-0.25} = -4V$$

b- من العلاقة:

$$I_s = \frac{D.I_a}{1-D}$$

نجد:

$$I_s = \frac{0.25 \times 1.25}{1 - 0.25} = 0.42A$$

c- من العلاقة:

$$\Delta I_1 = \frac{V_s \cdot D}{F \cdot L_1}$$

نجد:

$$\Delta I_1 = \frac{12 \times 0.25}{25000 \times 180 \times 10^{-6}} = 0.67A$$

d- من العلاقة:

$$\Delta V_{C1} = \frac{I_s \cdot (1 - D)}{F \cdot C_1}$$

نجد:

$$\Delta V_{C1} = \frac{0.42(1 - 0.25)}{25000 \times 200 \times 10^{-6}} = 63mV$$

e- من العلاقة:

$$\Delta I_2 = \frac{D \cdot V_s}{F \cdot L_2}$$

نجد:

$$\Delta I_2 = \frac{0.25 \times 12}{25000 \times 150 \times 10^{-6}} = 0.8A$$

f- من العلاقة:

$$\Delta V_{C2} = \frac{\Delta I_2}{8F \cdot C_2}$$

نجد:

$$\Delta V_{C2} = \frac{0.8}{8 \times 25000 \times 220 \times 10^{-6}} = 19.18mV$$

g- التوتر المتوسط على طرفي الديود يمكن حسابه من العلاقة:

$$V_{dm} = -D \cdot V_{C1} = -V_a \cdot D \frac{1}{1 - D} = V_a$$

من أجل دائرة بدون مفاقيد:

$$I_{L2} \cdot V_{dm} = V_a \cdot I_a$$

والتيار المتوسط في الملف L_2 هو :

$$I_{L2} = \frac{I_a \cdot V_a}{V_{dm}} = I_a = 1.25A$$

فإن تيار الترانزستور الأعظمي:

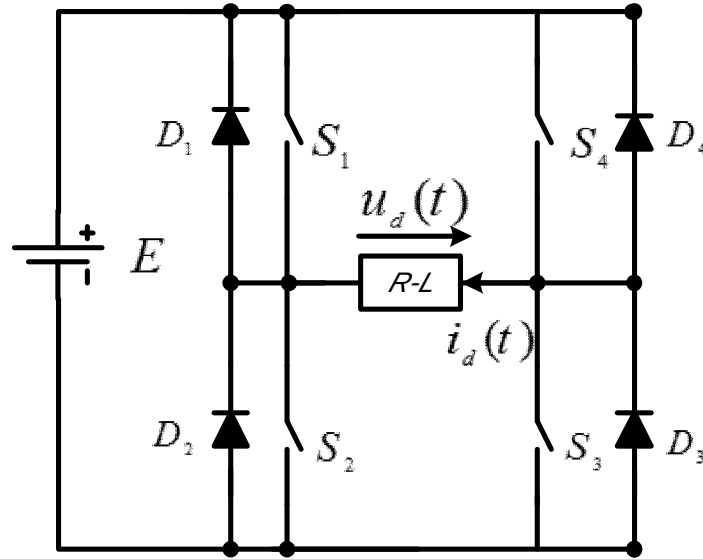
$$I_p = I_s + \frac{\Delta I_1}{2} + I_{L2} + \frac{\Delta I_2}{2} = 0.42 + \frac{0.67}{2} + 1.25 + \frac{0.8}{2}$$

$$I_p = 2.405A.$$

مثال (15):

- لدينا معرج جسري أحادي الطور حسب الشكل المبين أدناه (2-1) باعتبار أن الحمل أومي، بين شكل التوتر خلال دور التشغيل. وفي حالة حمل مختلط أومي وتحريضي بين معادلات التوتر والتيار للحمل.

الحل:



شكل (2-1) جسر تعريج أحادي الطور.

1- بما أن الحمل مقاومة أومية صرفية:

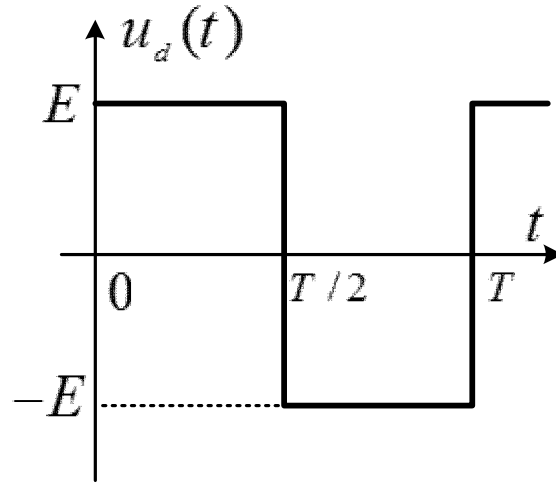
لدينا في كل لحظة العلاقة:

$$U_d(t) = R \cdot i_a(t)$$

من أجل $0 < t < \frac{T}{2}$ القواطع (1 و 3) موصلة (ON)، والقواطع (2 و 4) مفتوحة (Off)، التوتر $U_d(t) = +E$

من أجل $\frac{T}{2} < t < T$ القواطع (1 و 3) مفتوحة (Off)، والقواطع (2 و 4) مغلقة (ON).
- التوتر $U_d(t) = -E$

- التيار $i_d(t) = \frac{U(t)}{R}$



شكل (ب-1-2)

2- حالة تطبيق حمل مختلط أومي تحريضي على المعرج:

كتابع لعامل الجودة في كل لحظة يعطى توتر الحمل حسب العلاقة:

$$U_d(t) = R.i_d(t) + L \frac{di_d}{dt}$$

هنا أيضاً من أجل $0 < t < \frac{T}{2}$ القواطع (1 و 3) موصلة (ON)، ومن أجل $\frac{T}{2} < t < T$ القواطع (2 و 4) سوف يتم توصيلها.

- نعتبر الحالة الأولية $i_d(t) = 0$

- خلال الفترة الزمنية $0 < t < \frac{T}{2}$ وكون (3+1) موصلة و (2 و 4) مفصولة off لدينا:

$$U_{d1}(t) = R.i_{d1}(t) + L \frac{di_{d1}}{dt} = E$$

الرمز (1) يشير للعمل خلال نصف الدور الأول من موجة التوتر المتناوب.

حل المعادلة التفاضلية أعلاه هو عبارة عن مجموع التيار في الحالة الدائمة والحالة العابرة ويكتب بالشكل:

$$i_{d1}(t) = K.e^{-t/\tau} + \frac{E}{R}$$

- عند $t=0$ لدينا:

$$i_{d10}(t) = K + \frac{E}{R}$$

ومنه:

$$K = i_{d10} - \frac{E}{R}$$

وبالتعويض في معادلة $i_{d1}(t)$ نجد:

$$i_{d1}(t) = \left(i_{d10} - \frac{E}{R} \right) e^{-t/\tau} + \frac{E}{R}$$

حيث $i_{d10}(t)$ هو التيار المار بالحمل عند $t=0$ ، التيار $i_{d1}(t)$ يتزايد باتجاه القيمة النهائية $\frac{E}{R}$ وذلك بشكل أسّي (من الرتبة الأولى). وخلال نصف الدور الأول، اعتبرنا الحالة الأولية معدومة أي $i_{d10} = i_{d1}(0) = 0$ أي أن:

$$i_{d1}(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-t/\tau}) \dots \dots \dots (1)$$

- عند الزمن $t = \frac{T}{2}$ ، القواطع (2 و 4) موصلة (ON). لا يمكن لهذه القواطع أن تمرر التيار لأن اتجاه التيار موجب عند الزمن $t = \frac{T}{2}$ ومعادلة التيار كما رأينا أعلاه في (1) ستكون مساوية:

$$i_{d1}(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-T/2\tau})$$

هذا التيار موجب لذا فإنه سوف يمر في D_1 و D_3 التي تصبح موصلة. القواطع (T_1 و T_3) ستكون مفتوحة (off).

- طالما أن التيار في الحمل موجب، لدينا خلال نصف الدور الثاني توتر الحمل بالشكل:

$$U_{d2}(t) = R.i_{d2}(t) + L \frac{di_{d2}}{dt} = -E$$

كما سبق حل هذه العلاقة يكتب بالشكل:

$$i_{d2}(t) = \left(i_{d20} + \frac{E}{R} \right) e^{-\left(t - \frac{T}{2}\right)/\tau} - \frac{E}{R}$$

حيث i_{d20} هو التيار عند الزمن $t = \frac{T}{2}$ ، أي أن

$$i_{d20} = i_{d1} \left(\frac{T}{2} \right) = \frac{E}{R} (1 - e^{-T/2\tau})$$

التيار $i_{d2}(t)$ يتجه نحو القيمة النهائية المحددة بالقيمة $-\frac{E}{R}$ وبشكل أسي. وسوف ينتهي عند الزمن

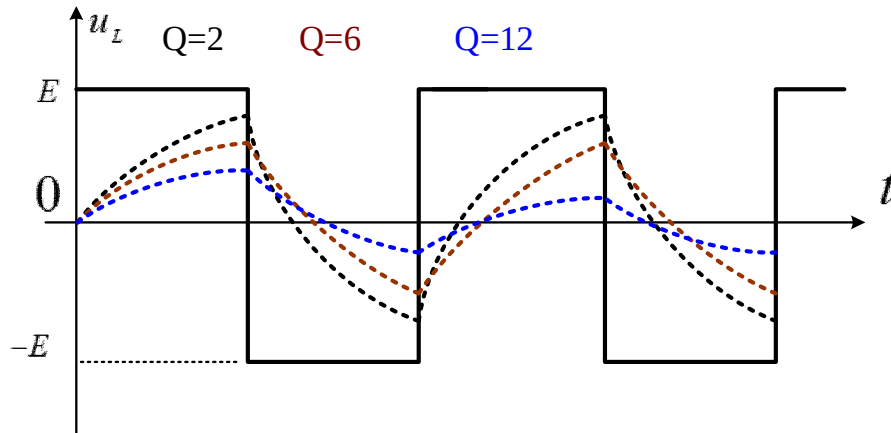
$t_{10} < T$ بحيث أن $i_{d20} > 0$.

من أجل $t_{10} < T$ ، القواطع (2 و 4) ستنقل للتوصيل وتحجز الديودات D_1 و D_3 .

- هذا وتبعاً لعامل الجودة Q للحمل، كلما زادت Q كلما استلزم أو وجب زمن أطول للوصول لحالة

الاستقرار أو التيار الدائم ومن أجل دور تشغيل قدره T ثابت الزمن $\tau = \frac{L}{R}$ سيزداد. والشكل يوضح

ثلاث حالات للتشغيل عند $Q=2.5$ أو $Q=6$ أو $Q=12$.



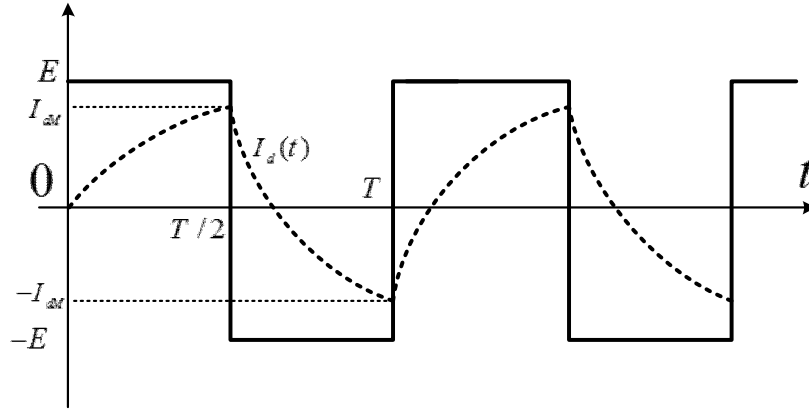
شكل (س-1-2) تغيرات تيار الحمل للحمل τ .

- حالة التشغيل الدائم Regime Permanent

انطلاقاً من شروط التشغيل الأولية وذلك باعتبار أن المعرج بدء من تيار يساوي الصفر نرى كيف يستقر التيار خلال عدة أدوار، وتعتمد قيمة التيار وشكله على عامل الجودة Q (quality Factor)

$$Q = \frac{L\omega}{R}$$

في حالة العمل الدائم التيار يهتز بين القيمة I_{dM} و $-I_{dM}$ كما في الشكل (س-1-2) أدناه. والآن سوف نحسب خواص التيار المستقر في هذه الحالة.



شكل (س-١-٢) التيار عند حمل تحريضي.

ملاحظة أساسية:

في حالة التشغيل الدائم $i_d(t)$ هو تيار دوري بدور T لأن العلاقة التفاضلية للتوتر

$$\left(U_d(t) = R.i_d(t) + L \frac{di_d}{dt} \right)$$
 هي خطية (قيم R و L) لا تعتمد على التيار $i_d(t)$. وبما أن
الحمل تحريضي التيار $i_d(t)$ سيكون متأخراً عن التوتر $U_d(t)$ هذا التأخير بالطور يتراوح من $t=0$
(عند حمل أومي صرف) إلى $t = \frac{T}{4}$ (عند حمل تحريضي صرف). أي أنه في حالة التشغيل الدائم

المستقر، يمر التيار $i_d(t)$ من قيمة سالبة إلى قيمة موجبة عند $t=t_1$ حيث $0 < t_1 < \frac{T}{4}$.

هذا التيار متناظر، لذا سيمر من قيمة موجبة إلى قيمة سالبة عند $t = \frac{T}{2} + t_1$ وفي كلتا الحالتين،

يتبع التيار شكل التوتر $U_d(t)$ مع تأخير زمني t_1 .

معادلات التيار $i_d(t)$ والتوتر $U_d(t)$:

خلال دور التشغيل، يمكن تمييز أربعة مراحل تشغيل.

1- من أجل $0 < t < t_1$:

القواطع (3+1)ON و (4+2)OFF، التيار $i_d(t)$ كان سالباً عند $t=0$ ويساوي $-I_{dM}$ ، لذا لا يمكن
لهذه القواطع (3+1) تمرير التيار السالب، الديودات D_2 و D_4 تمرر التيار $i_d(t)$ ولدينا:

$$U_d(t) = E = R.i_d(t) + L \frac{di_d}{dt}$$

وعليه:

$$i_d(t) = \frac{E}{R} + \left(-I_{dM} - \frac{E}{R} \right) e^{-t/\tau}$$

$$\text{حيث } \tau = \frac{L}{R}.$$

- عند الزمن $t=t_1$ التيار $i_d(t)=0$.

$$2- \text{ من أجل } t_1 < t < \frac{T}{2}:$$

هنا ستبدأ القواطع (3+1) بتمرير التيار ويتم حيز D_1 و D_3 ، ومعادلات التيار والتوتر تبقى كما في السابق.

$$3- \text{ من أجل } \frac{T}{2} < t < t_1 + \frac{T}{2}:$$

يتم نقل القواطع (4+2) للوصل (On) ونقل (3+1) للفصل (Off). التيار $i_d(t)$ ذي قيمة موجبة عند $t = \frac{T}{2}$ ويساوي $+I_{dM}$ ، وهنا القواطع (4+2) لا يمكنها تمرير التيار، الديودات (الثنائيات)

D_2 و D_4 تمرر التيار الموجب ولدينا:

$$U_d(t) = -E = R.i_d(t) + L \frac{di_d}{dt}$$

$$i_d(t) = -\frac{E}{R} + \left(I_{dM} + \frac{E}{R} \right) e^{\left(\frac{t-T/2}{\tau} \right)}$$

عند الزمن $t = \frac{T}{2} + t_1$ ينعدم التيار $i_d(t)$.

$$4- \text{ من أجل } \frac{T}{2} + t_1 < t < T:$$

القواطع (2+4) تمرر التيار السالب ، الديودات D_1 و D_3 تحجز . معادلات التوتر والتيار تبقى كما هي سابقاً.

- حساب قيمة I_{dM} :

• من أجل $0 < t < \frac{T}{2}$ المعادلة التفاضلية تسمح برسم شكل التيار $i_d(t)$ وتكتب بالشكل:

$$E = R.i_{d1}(t) + L \frac{di_{d1}}{dt} \Rightarrow i_{d1}(t) = \frac{E}{R} + \left(-I_{dM} - \frac{E}{R} \right) e^{-t/\tau}$$

الرمز (1) يدل هنا للفترة الزمنية $0 < t < \frac{T}{2}$.

• من أجل $\frac{T}{2} < t < T$ لدينا:

$$-E = R.i_{d2}(t) + L \frac{di_{d2}}{dt} \Rightarrow i_{d2}(t) = -\frac{E}{R} + \left(I_{dM} + \frac{E}{R} \right) e^{-T/2\tau}$$

في حالة التشغيل الدائم، التيار $i_d(t)$ هو تيار دوري بدور T ونكتب:

$$i_{d1}(0) = -I_{dM} = i_{d2}(T) = -\frac{E}{R} + \left(I_{dM} + \frac{E}{R} \right) e^{-T/2\tau} \dots\dots\dots(1)$$

$$i_{d1}\left(\frac{T}{2}\right) = I_{dM} = i_{d2}\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{E}{R} + \left(-I_{dM} - \frac{E}{R} \right) e^{-T/2\tau} \dots\dots\dots(2)$$

كلتا المعادلتين تسمح بإعطاء التيار I_{dM} .

لنأخذ العلاقة (1) :

$$-I_{dM} = \frac{E}{R} \left(-1 + e^{-\frac{T}{2\tau}} \right) + I_{dM} e^{-T/2\tau}$$

$$I_{dM} \left(1 + e^{-\frac{T}{2\tau}} \right) = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{T}{2\tau}} \right)$$

وليكن:

$$i_{d1}(0) = -I_{dM} = i_{d2}(T) = -\frac{E}{R} + \left(I_{dM} + \frac{E}{R} \right) e^{-T/2\tau} \dots\dots\dots(1)$$

$$I_{dM} = \frac{E}{R} \frac{1 - e^{-\frac{T}{2\tau}}}{1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}} = \frac{E}{R} \ln \left(\frac{T}{4\tau} \right)$$

- حساب t_1 :

عند $t=t_1$ ، $i_{d1}(t)=0$ وليكن:

$$0 = \frac{E}{R} + \left(-I_{dM} - \frac{E}{R} \right) e^{-t/\tau}$$

ومنه:

$$t_1 = -\tau \ln \frac{\frac{E}{R}}{I_{dM} + \frac{E}{R}} = -\tau \ln \frac{1}{1 + th \left(\frac{T}{4\tau} \right)}$$

$$t_1 = \tau \ln \left(1 + th \left(\frac{T}{4\tau} \right) \right)$$

مثال (16):

معرج نصف جسري كما في الشكل (أ-4-2) أدناه. حيث مقاومة الحمل $R=24\Omega$ وتوتر الدخل $V_s=48V$. حدد مايلي:

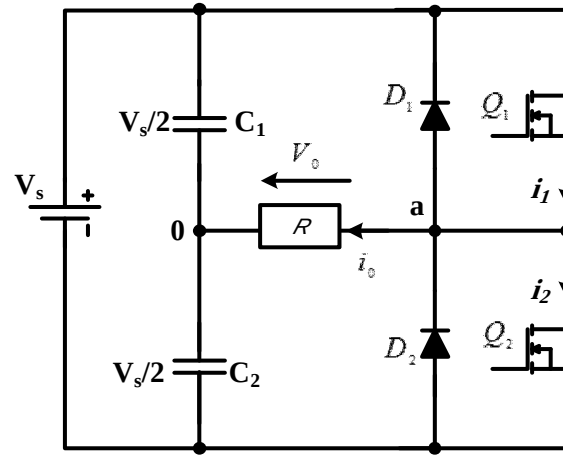
a- القيمة الفعالة rms لتوتر الخرج عند التوتر الأساسي V_{01} (المركبة التوافقية الأولى).

b- استطاعة الخرج P_0 .

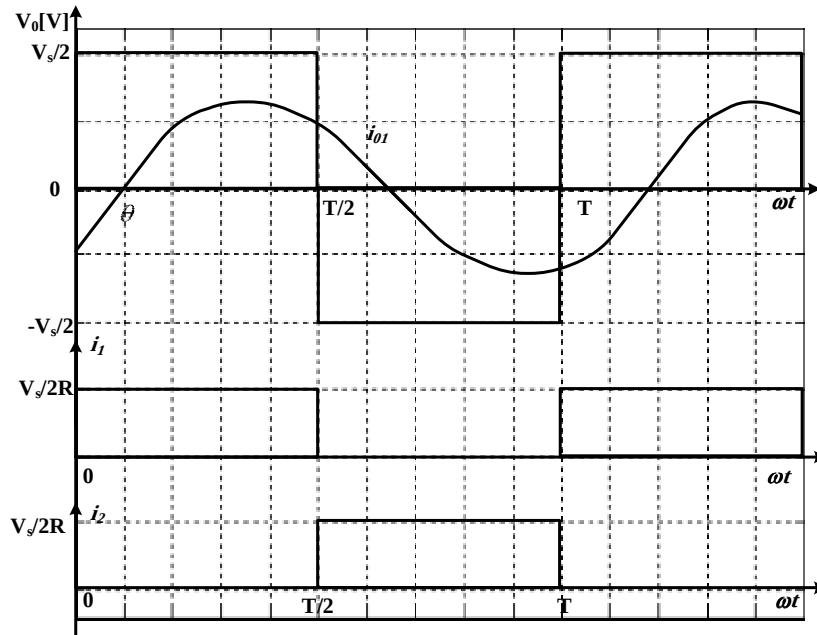
c- التوتر العكسي الأعظمي $V_{\beta R}$ (Peak reverse blocking Voltage) لكل ترانزستور.
e-THD (Total Harmonic Distortion). عامل التشوه الكلي.

f- عامل التشوه DF.

الحل :



a- دائرة الاستطاعة.



شكل a-(2-4) دائرة الاستطاعة. b- التوترات والتيارات.

a- من العلاقة:

$$V_{01} = \frac{2V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.45V_s$$

$$V_{01} = 0.45 \times 48 = 21.6V$$

b- من العلاقة

$$V_0 = \frac{V_s}{2} = \frac{48}{2} = 24V$$

وعليه فإن

$$P_0 = \frac{V_0^2}{R}$$

$$P_0 = \frac{(24)^2}{2.4} = 240W$$

c- تيار الترانزستور الأعظمي:

$$I_p = \frac{24}{2.4} = 10A$$

وبما أن كل ترانزستور سيعمل فقط خلال نصف الدور فإن التيار المتوسط = 5A.

d- التوتر العكسي الأعظمي:

$$V_{\beta R} = 2 \times 24 = 48V$$

e- عامل تشوه التوافقيات الكلي: THD (Total Harmonic Distortion) يعطى بالعلاقة:

$$THD = \frac{1}{V_{01}} \left(\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} (V_{0n})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} (V_{0n})^2 = V_h^2 = (V_0^2 - V_{01}^2)^{\frac{1}{2}} = 0.2176V_s$$

ومنه فإن

$$THD = \frac{0.2176V_s}{0.45V_s}$$

$$THD = 48.34\%$$

f- عامل التشوه Déformation Factor يعطى بالعلاقة:

$$\left[\sum_{n=2,3}^{\infty} \left(\frac{V_{0n}}{n^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\left(\frac{V_{03}}{3^2} \right)^2 + \left(\frac{V_{05}}{5^2} \right)^2 + \left(\frac{V_{07}}{7^2} \right)^2 + \dots \right]^{\frac{1}{2}} = 0.024 V_s$$

$$DF = \frac{0.024V_s}{0.45V_s} = 5.382\%$$

في المعرج التسلسلي نصف الجسري الثيرستوري بين لنا ما يلي:

2- ما العلاقات النازمة بين تيار الحمل، تيار شحن وتفريغ المكثف، تيار المنبع، وتيار الثيرستور.

3- ما شكل التيار والتوتر على طرفي الحمل إذا كان الحمل سعويًا، وكيف عندئذ يتم وصل وفصل

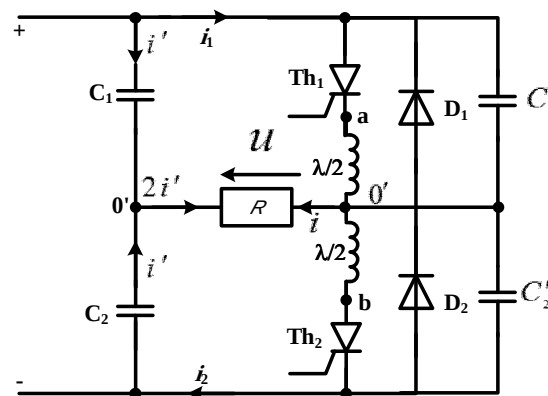
كل عنصر قطع في الدارة؟

الحل:

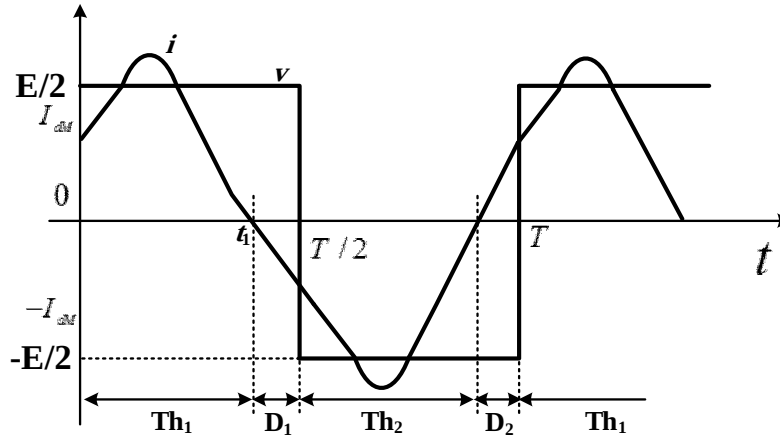
الشكل أدناه يوضح دائرة الاستطاعة لمعرج نصف جسري ثيرستوري تسلسلي، تشغيل الثيرستور Th_1

يعمل على فصل الثيرستور Th_2 وبالعكس. دائرة الحجز هي المكثف والملف $\lambda/2$. هذا الملف

يشكل توتر على المصعد معاكس لتوتر الثيرستور ويسبب حيز الثيرستور.



a- دائرة المعرج نصف الجسري التسلسلي.



شكل (2-5-b) التيار والتوتر على طرفي الحمل السعوي.

في حالة الحمل السعوي ، يتم توصيل Th_1 عن طريق نبضات القذح الواجب تطبيقها كل نصف دور ويتم فصل Th_1 تلقائياً عند $T/2$. عن طريق نبضات القذح يوصل أيضاً Th_2 ويفصل تلقائياً قبل نهاية نصف الدور الثاني.

في حالة الحمل التحريضي ، عملياً كي يمكن تحقيق عملية الحجز القسري للثريستور Th_1 أو Th_2 ، يجب أن نزود هذه الدارة بمكثفات حجز C_1' و C_2' ، وأن نزوده بملفين ملفوفين مع بعضهما البعض لفة بلفة ، لدى تشغيل Th_1 يمر التيار من المنبع النقطة M إلى الحمل ، وتصبح قطبية النقطة 0 موجبة ، وتصبح قطبية النقطة 0 سالبة.

لحظة توصيل Th_1 يتزايد التيار i وبالتالي فإن القوة المحركة الكهربائية المتولدة في الملف (0'a) ، تنشأ قوة محركة كهربائية عكسية في الملف (0'b) بحيث تطبق توتر سالب على مصعد Th_2 وتسعى لنقله للحجز. خلال تشغيل Th_1 التوتر على C_1' يساوي الصفر ، والتوتر على C_2' يعادل توتر المنبع ، وبالعكس ، فإن تشغيل Th_1 يفصل Th_2 وتشغيل Th_2 يفصل Th_1 والمكثفات C_1' و C_2' تقدم توترات الحجز.

2- العلاقات النازمة بين التيار والتوتر تعطى بالشكل:

$$U_{C1} + U_{C2} = E$$

$$\frac{dU_{C1}}{dt} + \frac{dU_{C2}}{dt} = 0$$

$$C \frac{dU_{C1}}{dt} = -C \frac{dU_{C2}}{dt}$$

تيار الشحن أو التفريغ i' للمكثف C_1 يساوي تيار الشحن والتفريغ للمكثف C_2 التيار i_C تيار المنبع ، i' تيار الشحن أو التفريغ. i تيار الحمل

لدينا:

$$i_C = i_1 + i'$$

أو:

$$i_1 = i = -2i' \Rightarrow i' = \frac{-i_1}{2}$$

$$i_C = i_1 - \frac{i_1}{2} = \frac{i_1}{2}$$

$$i_1 = 2i_C$$

مثال (18):

لدينا معرج نصف جسري حمل بحمل مختلط المقاومة الأومية للحمل كانت 3 أوم والممانعة للحمل كانت 12 أوم. توتر الدخل للمنبع المستمر 64 فولت. بين مايلي:

1- ارسم دائرة الاستطاعة لهذا الجسر وبين شروط ومتطلبات قرح عناصر القطع الترانزستورية المقترحة.

2- ما القيمة الفعالة لتوتر الخرج عند التردد 50 هرتز؟

3- ما الاستطاعة المطبقة على الحمل؟

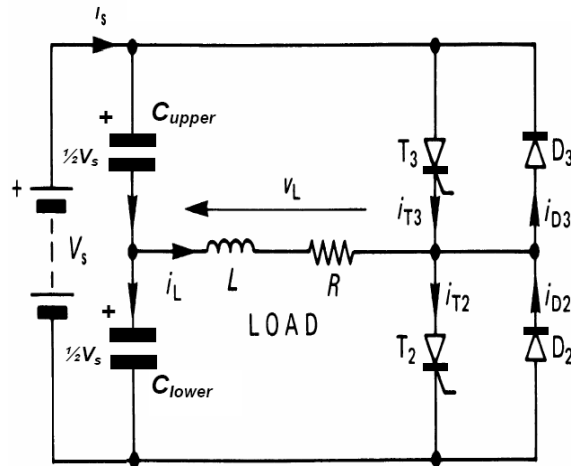
4- بين القيمة العظمى والدنيا لتيار كل ترانزستور.

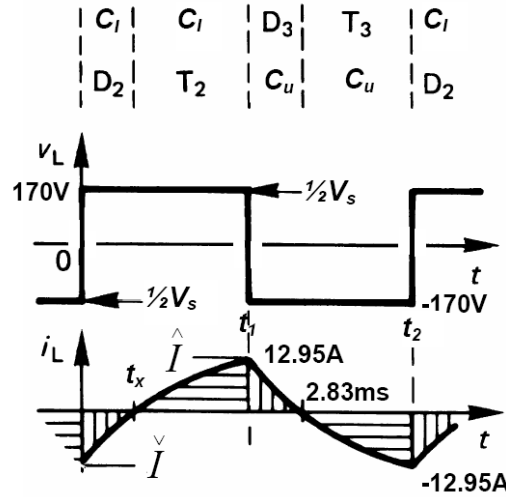
5- ما القيمة العظمى للتوتر العكسي المطبق على كل ترانزستور؟.

6- ما التوتر الاسمي والتيار الاسمي للديودات الحرة المستخدمة في الجسر؟.

الحل:

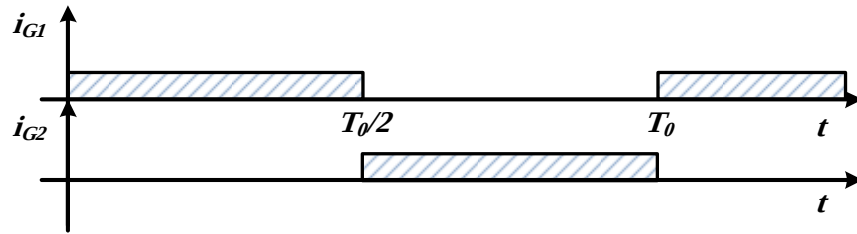
دائرة الاستطاعة لمعرج نصف جسري ترانزستوري.





شكل a-(2-6) دائرة الاستطاعة. b- توتر الحمل وتيار الحمل.

- يعمل القاطع Q_1 خلال نصف الدور $\frac{T_0}{2}$ ويعمل القاطع Q_2 خلال باقي نصف الدور. عندما يعمل Q_1 فإن توتر الحمل $V_0 = \frac{V_s}{2}$ ، وعند عمل Q_2 يصبح مساوياً $V_0 = -\frac{V_s}{2}$ تطبق نبضات القدح على كل من Q_1 و Q_2 كما يلي:



شكل (س-2-6) نبضات القدح للقاطعات.

التطبيق العددي:

1- القيمة الفعالة لتوتر الخرج عند التردد 50Hz تساوي قيمة التوتر المستمر المطبق أي أن:

$$V_0 = \frac{V_s}{2}$$

$$V_0 = \frac{64}{2} = 32V$$

- لحساب الاستطاعة المطبقة على الحمل: نحسب التيار المار ونحسب قيمة الثابت الزمني τ .

$$X_{L1} = 12 \Rightarrow L = \frac{12}{2 \times 50 \times \pi} = 0.0382H$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0.0382}{3} = 0.0127 = 12.7msec$$

نحسب القيمة العظمى للتيار :

$$\hat{I} = \frac{1}{2} \frac{V_S}{R} \frac{1 - e^{-t_1/\tau}}{1 + e^{-t_1/\tau}} : t_1 = \frac{T}{2} = 10$$

$$\hat{I} = \frac{1}{2} \frac{64}{3} \frac{1 - e^{-10/12.7}}{1 + e^{-10/12.7}} = 3.76A$$

- نحسب معادلة التيار مع الزمن :

$$i_L(t) = \frac{V_S}{2R} - \left(\frac{V_S}{2R} + \hat{I} \right) e^{-t/\tau}$$

$$= 10.667 - 14.43e^{-78.7t}$$

$$P_L = \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \frac{V_S}{2} i_L(t) dt = \frac{1}{10ms} \int_0^{10ms} 32(10.667 - 14.43e^{-78.7t}) dt$$

$$P_L = 21.4W$$

- القيمة العظمى والدنيا لتيار الترانزستور هي $\pm 3.76A$

- القيمة العظمى للتوتر العكسي المطبق على كل ترانزستور هي توتر المنبع $64V$.

- التوتر الاسمي للديود هو $64V$.

التيار الاسمي للديود يساوي تيار الحمل ويساوي $3.76A$.

مثال (19):

معرج جسري أحادي الطور كما في الشكل (2-7) أذناه. مقاومة الحمل $R=2,4\Omega$ وتوتر الدخل

$V_S=48V$ حدد ما يلي:

a- القيمة الفعالة $r.m.s$ لتوتر الخرج عند التوتر الاسمي V_{01} .

b - استطاعة الخرج P_0 .

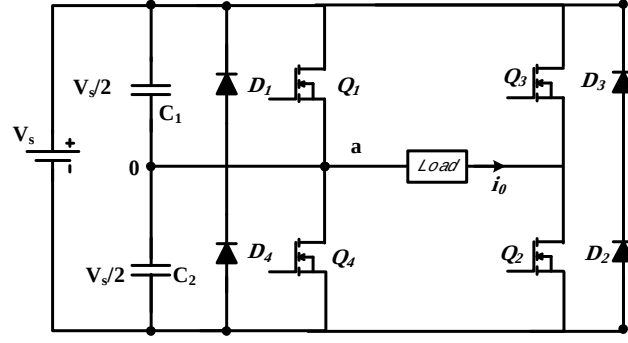
c - التيار المتوسط والأعظمي لكل ترانزستور.

d - التوتر العكسي الأعظمي $V_{\beta R}$ لكل ترانزستور.

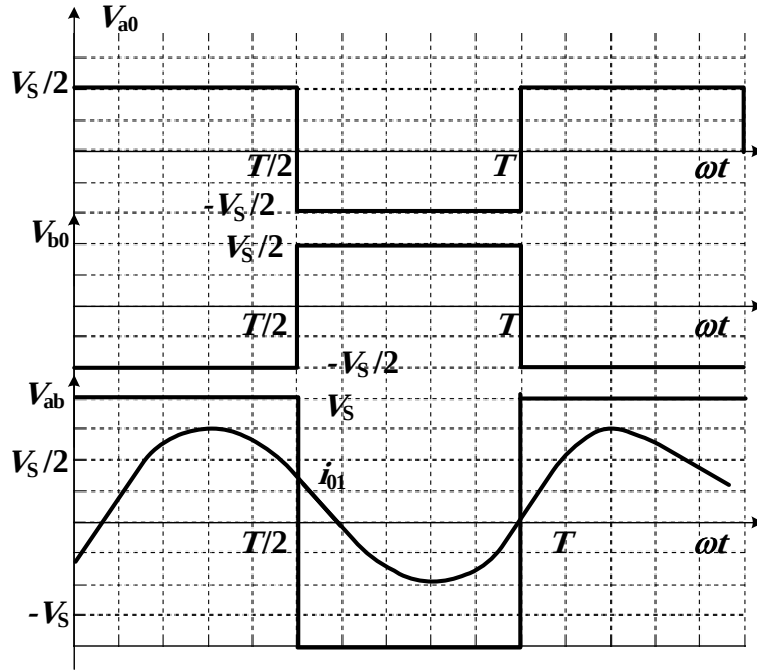
e- THD% .-

f - عامل التشوه DF.

الحل:



a- دائرة الاستطاعة.



شكل a-(2-7) دائرة الاستطاعة لمعرج جسري أحادي الطور.

b - التوترات والتيارات.

a- من العلاقة:

$$V_1 = \frac{4V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.9V_s$$

لدينا:

$$V_1 = 0.9 \times 48 = 43.2 \text{ Volts}$$

b- من العلاقة:

$$P_o = \frac{V_s^2}{R} = \frac{(48)^2}{2.4}$$

$$P_o = 960W$$

c- تيار الترانزستور الأعظمي

$$I_p = \frac{48}{2.4} = 20A$$

وبما أن الترانزستور الواحد لا يوصل سوى نصف دور، فإن القيمة المتوسطة لتيار الترانزستور $I_Q = 10A$

d- التوتر العكسي الأعظمي

$$V_{\beta R} = 48V$$

e- لدينا $V_1 = 0.9V_s$ والقيمة الفعالة r.m.s. لتوتر التوافقيات

$$V_h = \left(\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_{0n}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \left(V_0^2 - V_{01}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = 0.4352V_s$$

وعليه

$$THD = \frac{0.4352V_s}{0.9V_s} = 48.34\%$$

f- عامل التشوه DF:

$$\left[\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{V_{0n}}{n^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0.048V_s$$

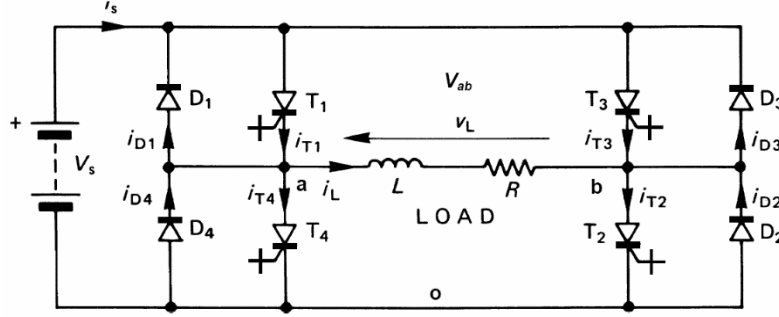
وعليه :

$$DF = \frac{0.048V_s}{0.9V_s} = 5.382\%$$

مثال (20):

لدينا دائرة المعرج الجسري التالي Full Bridge Inverter، الذي يغذي حملاً تحريضياً $R=10\Omega$ ، $L=50mH$ من منبع توتر مستمر $V_s=340V$ ويعمل عند تردد $f=50Hz$ حدد مايلي:

- 1- حدد تيار المنبع الوسطي والقيمة الفعالة لتيار الحمل وتوتره.
- 2- ارسم أمواج التيار للحالة المستقرة عندما يعمل الجسر بموجة مربعة.



شكل a-(2-8) دائرة الاستطاعة.

الحل:

لدينا الثابت الزمني وأزمنة العمل كما هي مبينة في الشكل السابق:

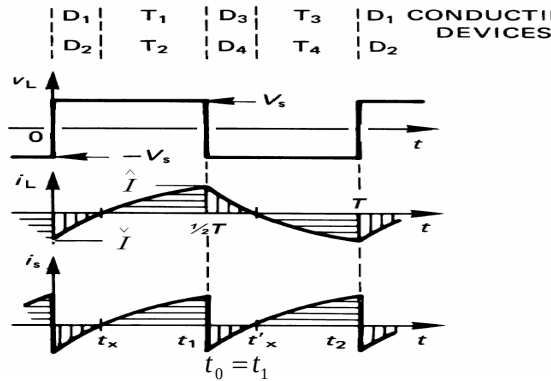
$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{50}{10} = 5ms$$

$$t_1 = 10ms, \quad t_2 = 20ms$$

$$t_0 = t_1$$

قيم التيار الأعظمي المار في الحمل تحسب وفق العلاقة:

$$\hat{I} = -\check{I} = \frac{V_s}{R} \frac{1 - e^{-t_0/\tau}}{1 + e^{-t_1/\tau}} = \frac{340}{10} \frac{1 - e^{-2}}{1 + e^{-2}} = 25.9A$$



b- توتر الحمل وتيار الحمل وتيار المنبع.

إن توتر الحمل هو $V_L = 340V$

- لدينا المعادلة الزمنية للتيار هي:

$$i_L(t) = \frac{V_s}{R} - \left(\frac{V_s}{R} + \check{I} \right) e^{-t_1/\tau}$$

$$i_L(t) = \frac{340}{10} - \left(\frac{340}{10} + 25.9 \right) e^{-200t}$$

$$= 34 - 59.9e^{-200t}$$

$$\text{for } 0 \leq t \leq t_1 = 10ms = \frac{1}{2}T$$

عندما يكون التوتر

$$V_L = -340V$$

$$i_L(t) = -\frac{V_S}{R} + \left(\frac{V_S}{R} + \hat{I} \right) e^{-t_1/\tau}$$

$$= -\frac{340}{10} + \left(\frac{340}{10} + 25.9 \right) e^{-200t}$$

$$= -34 + 50.9e^{-200t}$$

$$\text{for } 0 \leq t \leq t_2 - t_1 = 10ms = \frac{1}{2}T$$

علماً أن نقطة التقاطع مع المحور تحسب وفق المعادلة:

$$t_x = \tau \ln \left(1 + \frac{\hat{I} \times R}{V_S} \right) = 2.83ms$$

الاستطاعة المقدمة للحمل هي:

$$P_L = \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} V_S \times i_L(t) dt$$

$$P_L = \frac{1}{10ms} \int_0^{10ms} (340) \times (34 - 50.9e^{-200t}) dt = 2755W$$

$$P = i^2 \times R$$

$$i_{rms} = \sqrt{\frac{P_L}{R}} = \sqrt{\frac{2755}{10}}$$

$$\bar{I}_S = \frac{P_L}{V_S} = \frac{2755}{340} = 8.1A$$

مثال (21):

2- تشغيل المعرجات الثلاثية الطور بعرض نبضات 120° .

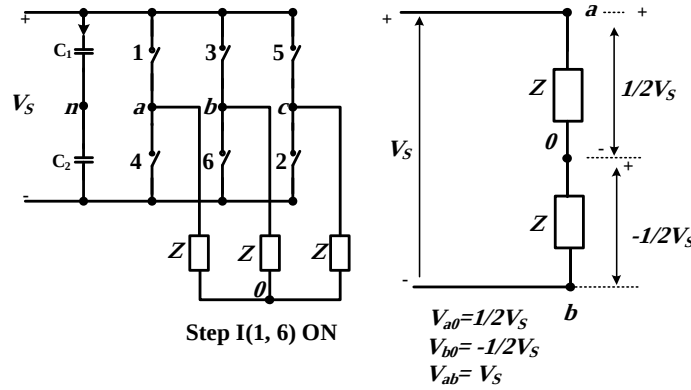
الشكل (أ-10-2) يشرح بالرسم نبضات القدر ذات العرض 120° درجة المطبقة على القواطع، ونرى تسلسل عمل هذه القواطع وبالتالي استنتاج توترات الأطوار وتوترات الخطوط. ونرى من الشكل (أ-10-2) أن توتر الطور (Phase Voltage) ذو نبضة توتر موجبة ونبضة توتر سالبة عرض كل منها 120° درجة، وذلك خلال الدور الواحد. توتر الخط ذو ست مراحل في الدور وبحسب بنفس الطريقة السابقة حيث أن توترات الخطوط تحسب من العلاقات:

$$V_{ab} = V_{a0} - V_{b0}$$

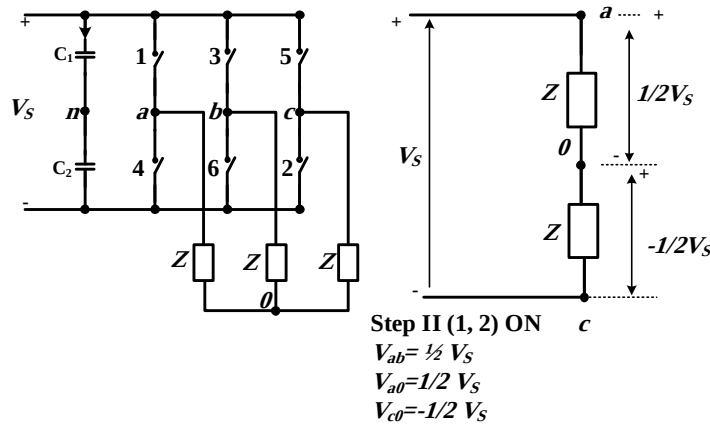
$$V_{bc} = V_{b0} - V_{c0}$$

$$V_{ca} = V_{c0} - V_{a0}$$

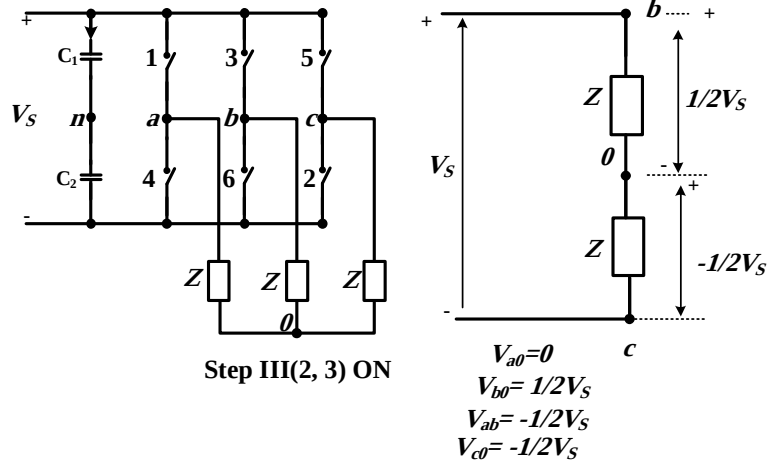
- سنورد فيمايلي تحليل القواطع الموصلة وغير الموصلة والدارة المكافئة المبسطة لكل 60° درجة من الدور. الفترة من (0 حتى 60°). القواطع المغلقة 6+1



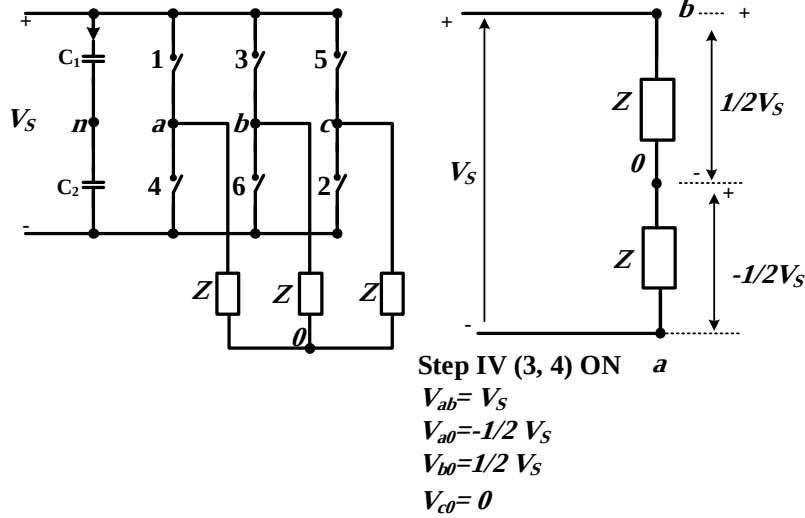
- Step II - الفترة من (60 حتى 120°) (2+3) ON



Step III الفترة من (120 حتى 180°) (2+3) ON



Step IV- ، الفترة من (180 حتى 240°) ، (3+4) ON



شكل (أ-10-2) الدارات المكافئة لمعرج جسري أحادي الطور يعمل بعرض نبضات 120° درجة. الحمل موصل بشكل نجمي.

مميزات عمل المعرج عند عرض نبضات قرح 120° بالمقارنة بطريقة العمل عند عرض نبضات 180° درجة يمكن تلخيصها بمايلي:

1- في نظام 180° درجة للمعرج، نبضة القرح للثريستور T_1 أو الترانزستور تنتهي عند $\omega t=180^\circ$ حيث تبدأ نبضة القرح للقاطع T_4 مباشرة. ويجب على T_4 أن ينتقل للتوصيل وللعلم فإن T_1 و T_4 هما على نفس الذراع. وبما أن فصل العنصر T_1 لا يتم لحظياً، فإن احتمال عمل T_1 و T_4 سوياً قد يحدث إذا لم يترك زمن كافٍ بينهما وهذا يسبب قصر توتر المنبع المستمر.

هذه المشكلة تم حلها بشكل جيد باستخدام عرض نبضات 120° . بما يوفر زمناً يعادل 60° فصل T_1 ثم تشغيل T_4 .

2- في نظام العمل عند عرض نبضات 120° ، يتم استنتاج التوترات للأطوار من مربطين فقط، بينما لاحظنا في حالة 180° درجة أن أحد الأطوار الموجبة يعمل لفترة 180° درجة يقابله في العمل طورين في الجزء السالب أو الثيرستورات الجهة السفلية (ذات الاتجاه السالب). وفي هذه الحالة اعتمدنا كون الحمل $Z=R$ أومي. وعندئذ ينتهي التيار مباشرة مع انتهاء فترة التوصيل. هذا ولو كان الحمل حثياً، لاستمر التيار لفترة أطول وأصبح استنتاج أشكال التوترات والتيارات أكثر تعقيداً وصعوبة.

- تحليل فورييه لتوترات الأطوار V_{a0} و V_{b0} و V_{c0} الناتجة في الشكل (د-10-2) يعطى بالعلاقة:

$$V_{a0} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \sin n\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

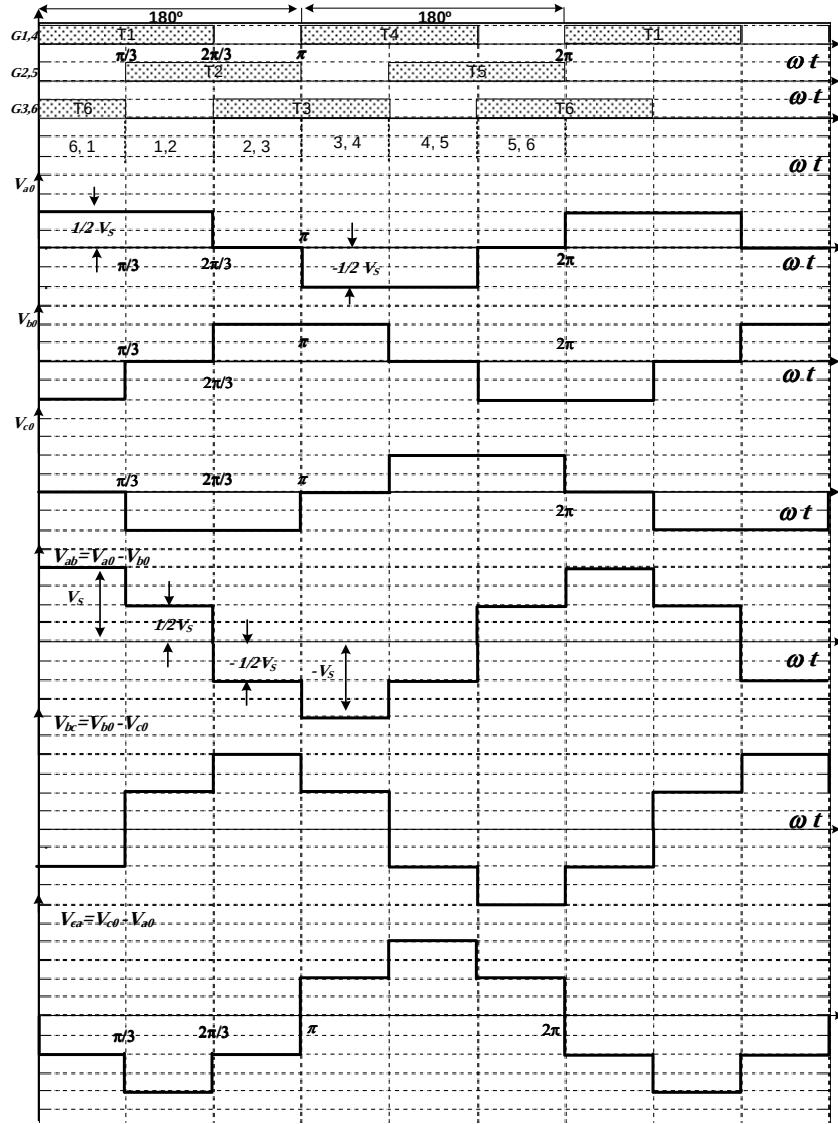
$$V_{b0} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \sin n\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$V_{c0} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \sin n\left(\omega t + \frac{5\pi}{6}\right)$$

توتر الخط يعطى بالشكل:

$$V_{ab} = \sum_{n=6K \pm 1}^{\infty} \frac{3V_s}{n\pi} \sin n\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right)$$

$$K = 1, 2, 3, \dots$$



شكل (د-10-2) نبضات قرح عرض 120 درجة- توترات الأطوار والخطوط عند حمل أومي صرف.

- القيمة الفعالة للمركبة الأساسية لتوتر الطور يحسب بالشكل:

$$V_{Ph1} = \frac{2V_s}{\sqrt{2} \cdot \pi} \cos \frac{\pi}{6} = 0.389V_s$$

- القيمة الفعالة لتوتر الطور عموماً هي من العلاقة:

$$V_{ph} = \left[\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi/3} \left(\frac{V_s}{2} \right)^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{ph} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{V_s}{2} = \frac{V_s}{\sqrt{6}} = 0.4082V_s$$

- القيمة الفعالة لتوتر الخط للمركبة الأساسية تعطى بالعلاقة:

$$V_{L1} = \frac{3V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.6752V_s = \sqrt{3}V_{ph}$$

مثال (22):

معرج تيار أحادي الطور، يغذي حملاً أومياً بمقاومة 12Ω . توتر دخل المنبع المستمر $120V$. وتردد العمل $20Hz$. احسب قيمة ممانعة المنبع وسعة مكثف التبديل (الحجز) المستخدم. اعتبر أن زمن فصل الثيرستور $50\mu s$.

١- إذا تم إضافة حثية $L=0.06H$ إلى الحمل، حلّل أثر ذلك على توتر المكثف وسعته.

٢- اشرح بالتفصيل آلية عمل المبدلات ذات التبديل عن طريق الحمل، وحاول الربط بينها وبين معرجات التيار ذات التبديل القسري .

الحل:

الشكل (13-2) أدناه يوضح دائرة الاستطاعة لمعرج التيار الأحادي الطور.

إن اختيار حثية الملف (L) تعتمد على ثابت الزمن لتيار المنبع، لدى حدوث تغيرات في تيار الحمل. تيار الحمل الدائم يساوي:

$$\frac{120}{12} = 10A$$

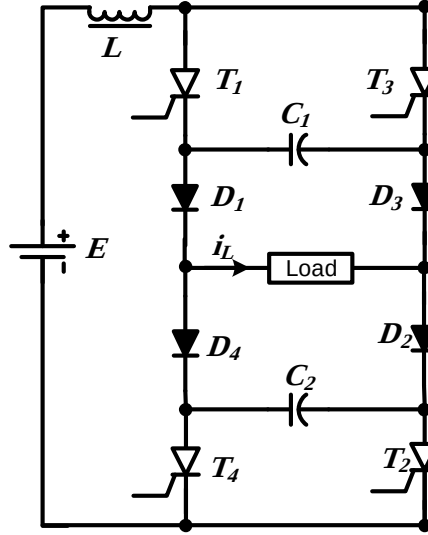
بفرض حدوث زيادة في تيار الحمل وازداد التيار بمعدل (1) أمبير لكل دور. عندئذ:

$$\frac{di}{dt} = 1 \times 20$$

وعليه فإن

$$L \frac{di}{dt} = 120Volts.$$

$$L = \frac{120}{20} = 6H.$$



شكل (2-13 -A) دائرة الاستطاعة لمعرج التيار.

- تنتقل الديودات للتوصيل مباشرةً بعد حيز الثيرستورات T_3 و T_1 شكل (2-13)، وبما أن تيار المكثفات C_1 و C_2 متماثل، فإن فرق التوتر بين المنبع والحمل سوف يتواجد على طرفي L ، مما يولد تغيرات سريعة للتيار. هذه التغيرات صغيرة مما يسمح لنا بالقول أن تيار المنبع يحافظ على قيمته $10A$.

- معادلات الدارة هي:

$$2i_C + i_L = 10A$$

$$12.i_L = \frac{1}{C} \int i_C .dt$$

بما أن C تكون عادة مشحونة بشحنة أولية تساوي توتر المنبع $120V$ - فإن تحويل لابلاس للعلاقات السابقة يصبح :

$$2i_C + i_L = \frac{10}{S}$$

$$12i_L = \frac{i_C}{S.C} - \frac{120}{S}$$

حل هذه المعادلات يعطي:

$$i_L(t) = 10 - 20e^{-t/24C} \quad A$$

$$i_C(t) = 10e^{-t/24C} \quad A$$

- التوتّر على طرفي الثيرستور T_1 أو (T_2) ينحاز ويصبح التوتّر عكسياً عندما ينعدم توتّر الحمل أو تيار الملف i_L ، زمن الحجز $t_Q=50\mu s$ بالعلاقة أعلاه يعطي سعة المكثف اللازم استخدامه وهي $C=3\mu F$.

2- إضافة حثية للحمل يعني تعديل المعادلات التفاضلية التي استخدمت أعلاه وسوف تصبح الآن بالشكل:

$$2i_C + i_L = \frac{10}{S}$$

$$12i_L + 0.06(Si_L + 10) = \frac{i_C}{S.C} + \frac{V_0}{S}$$

- بأخذ $C=3\mu F$ ، وتوتّر الشحن الأولي $V_0 = -120V$ ، حل المعادلات أعلاه يعطى بالشكل:

$$i_L = 10 - e^{-100t} (20\cos 1664t + 0.6\sin 1664t) \quad A$$

$$i_C = e^{-100t} (10\cos 1664t + 0.6\sin 1664t) \quad A$$

$$V_C = 120 + e^{-100t} (1990\sin 1664t - 240\cos 1664t) \quad V$$

- حسب العلاقات أعلاه، تيار المكثف سوف ينعدم خلال $980\mu s$ ، وذلك عند حجز D_1 و D_3 . بالمحافظة على تيار الحمل منعكس كلياً عند القيمة $10A$ وتوتّر حمل $120V$. خلال الفترة $980\mu s$ المكثف سوف يشحن ويصل توتّر الشحن إلى $1933V$. وهو توتّر كبير (excessive) قادر على تحطيم المكثف وكذلك تحطيم الثيرستور المحجوز. هذا يعني أن فرضية شحن المكثف بشكل أولي للتوتّر $120V$ ليست جيدة.

كي نخفض من التوتّر المطبق على الثيرستور، يجب رفع سعة المكثفات. إذا كانت مثلاً $C=20\mu F$. وعند توتّر شحن أولي للمكثف يساوي $110V$ - فإن العلاقات السابقة تصبح:

$$i_L = 10 - e^{-100t} (20\cos 638t + 28.75\sin 638t) \quad A$$

$$i_C = e^{-100t} (10\cos 638t + 14.37\sin 638t) \quad A$$

$$V_C = 120 + e^{-100t} (593\sin 638t - 1220\cos 638t) \quad V$$

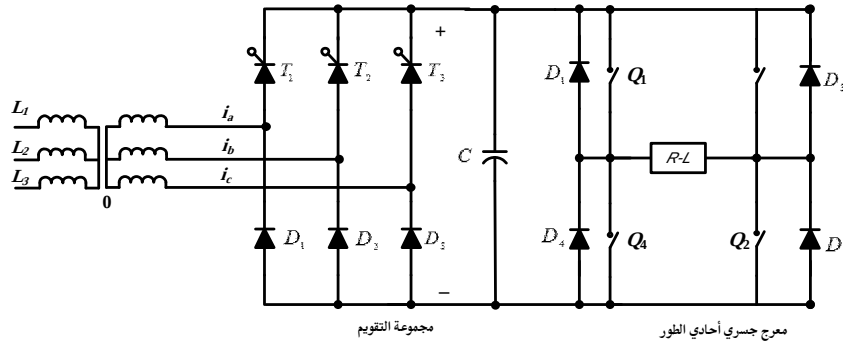
حسب هذه العلاقات الجديدة، تيار المكثف i_C سوف ينعدم بعد $4ms$. مما يسمح برفع توتّر المكثف فقط حتى القيمة $1000V$. زمن الحجز الموفر للثيرستورات هو الزمن المحسوب عند جعل التوتّر $V_C=0$ أي $1.59ms$ هذا الزمن واضح أنه أكبر بكثير من زمن الفصل اللازم للثيرستور $50\mu s$. أي أن سعة المكثف وتوتّر المعرج مترابطين.

مثال (23):

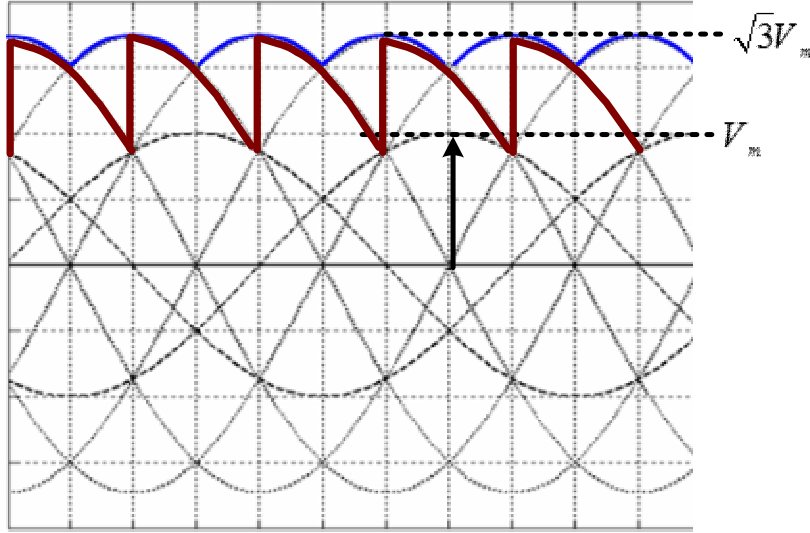
احسب القيمة الفعالة لتوتر الخرج الناتج عن معرج جسري أحادي الطور، غذي من جسر تقويم ثلاثي الطور مقاد يعمل عند زاوية إزاحة بالطور قدرها 30 درجة كهربائية. علماً أن توتر الخط في ثانوي المحول 410 فولت توتر خط. مقاومة الحمل 40 أوم وحثية الحمل 12 ميلي هنري. مقاومة ثانوي المحول والابتدائي والشبكة منسوبة للشبكة تساوي 1 أوم وحثية الشبكة 3 ميلي هنري. ارسم مخطط الدارة المقترحة، وارسم الشكل والقيمة الفعالة لتيار الحمل وتوتر الخرج، وبين زاوية التأخير الناشئة عندئذ. سعة المكثف على خرج جسر التقويم كانت 8000 ميكرو فاراد بقصد تحقيق توتر مستمر جيد على خرج جسر التقويم.

الحل:

دائرة الاستطاعة موضحة بالشكل (2-15-a) أدناه. كما أن الشكل (2-15-b) يوضح شكل التوتر المقوم الناتج عن جسر التقويم ثلاثي الطور المقاد عند $\psi=30^\circ$.
- يمكن للمكثف (C) المربوط على التفرع مع الجسر أن يأخذ القيمة المتوسطة لتوتر خرج الجسر لدى تحميل المعرج، كما أنه يمكن أن يأخذ التوتر المساوي لقمة التوتر المقوم الناتج، وخاصةً عند اللاحمل.



شكل (2-15-a) دائرة الاستطاعة للجسر المقترح



شكل (2-15-b) شكل توتر الخرج الناتج عن جسر التقويم.

لدى تشغيل الجسر الثيرستوري عند $\psi=30^\circ$ نجد أن قمة التوتر الناتج تبدأ من قمة التوتر الذي قيمته $\sqrt{3}.V_m$ وبما أن المكثف ذو سعة كبيرة فإن التوتر المستمر الأعظمي سيكون مساوياً $\sqrt{3}.V_m$ للتوتر الثانوي (وسوف نعتمد هذه القيمة).

$$V_m = \frac{410}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2}$$

ومنه فإن قمة التوتر ستكون

$$\sqrt{3}V_m = 410\sqrt{2} = 579.827\text{Volts}$$

– القيمة الفعالة لتوتر الخرج تعطى بالعلاقة:

$$V = E \sqrt{1 - \frac{\beta}{\pi}}$$

أو

$$V_1 = \frac{4V_s}{\sqrt{2\pi}} = 0.9V_s$$

$$V_0 = \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \sin n\omega t$$

$$i_0 = \frac{4V_s}{n\pi \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \varphi)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{n\omega L}{R}$$

بأخذ $n=1$:

$$i_0 = \frac{4V_s}{\pi \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin(\omega t - \theta_n)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{2\pi \times 50 \times 12 \times 10^{-3}}{40}$$

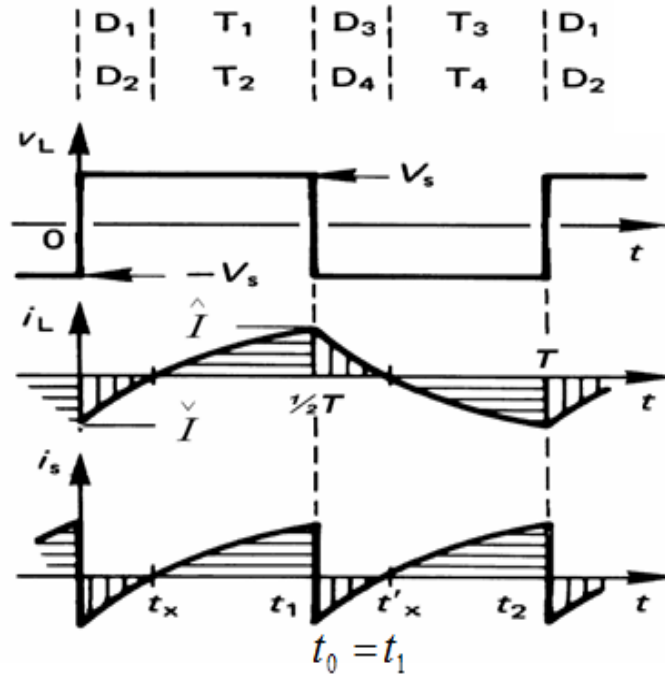
$$\varphi = \tan^{-1} \frac{3.778}{40} = \tan^{-1} 0.0942$$

$$\varphi = 5.4^\circ$$

- الشكل أدناه يوضح شكل التوتر المتناوب الناتج عن المعرج، والتيار المار في الحمل عند عامل استطاعة تم حسابه من مقاومة الحمل وحثية الحمل. حيث $\varphi = 5.4^\circ$.

$$i_0 = \frac{4 \times 579.8}{3.14 \sqrt{(40)^2 + 14}} = \frac{2319.2}{126.14} = 18.386 A$$

$$i_0 = 18.386 \sin(\omega t - 5.4)$$



شكل (س-15-2) توتر الخرج والتيار الحمل.

مثال (24):

احسب القيمة الفعالة لتوتر الخرج الناتج عن معرج جسري أحادي الطور، غذي من جسر تقويم ثلاثي الطور توتر ثانوي المحول فيه 380 فولت توتر خط. مقاومة الحمل 4 أوم وحثية الحمل 8 ميلي هنري. مقاومة ثانوي المحول والشبكة 1 أوم وحثية الشبكة 3 ميلي هنري. ارسم شكل تيار

الحمل وتوتر الخرج، وبين زاوية التأخير بالطور الناشئة عندئذ. سعة المكثف على خرج جسر التقويم كانت 6000 ميكرو فاراد بقصد تحقيق توتر مستمر جيد على خرج جسر التقويم. ارسم مخطط هذه الدارة.

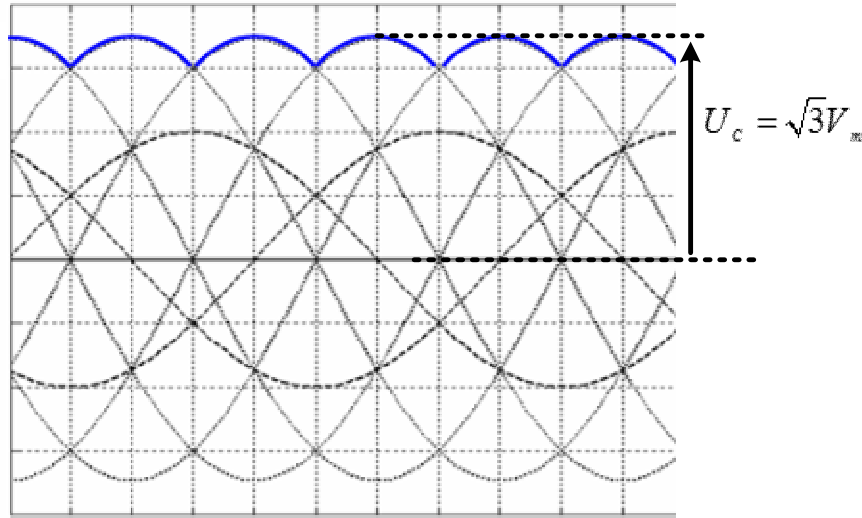
الحل:

1- حتى نتمكن من حساب القيمة الفعالة لتوتر الخرج الناتج عن جسر تعريج أحادي الطور، يلزم معرفة توتر الدخل المستمر المطبق.

جسر التقويم الثلاثي الطور، يمكن اعتباره غير مقاد، توتر خرجة طبق على مكثف ذي سعة كبيرة، لذا فإن التوتر المستمر هو التوتر المطبق على المكثف. وهنا ستكون قيمته مساوية لقمة التوتر المستمر الناتج عن المقوم وتساوي

$$U_C = \sqrt{3}.V_m$$

والشكل أدناه يوضح ذلك.



شكل (أ-16-2) خرج جسر التقويم.

- بتطبيق القيم المعطاة:

$$U_C = \sqrt{3}.V_m = \sqrt{3} \frac{380}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2} = 537.4 \text{Volts.}$$

- القيمة الفعالة للتوتر المتناوب الناتج عن المعرج تعطى بالعلاقة: (مركبة أساسية)

$$V_1 = 0.9V_s = \frac{4V_s}{\pi \cdot \sqrt{2}}$$

$$U_C = V_s = 537.4$$

$$V_1 = 0.9 \times 537.4 = 483.66 \text{Volts.}$$

زاوية التأخير لتيار الحمل تعطى بالعلاقة:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2\pi \times 50 \times 8 \times 10^{-3}}{4} = \tan^{-1} \frac{2.512}{4} = \tan^{-1} 0.625$$

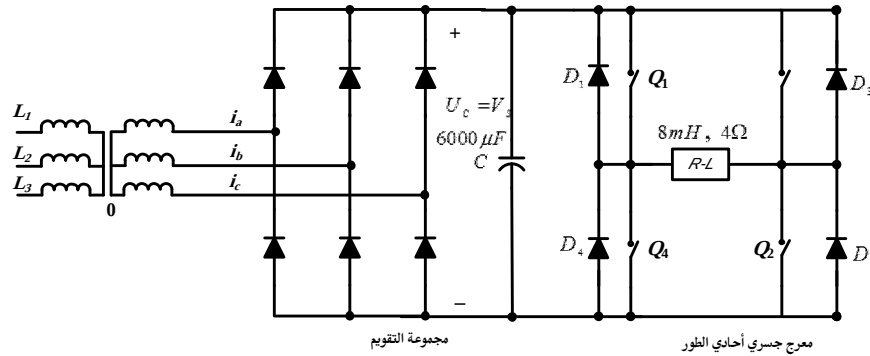
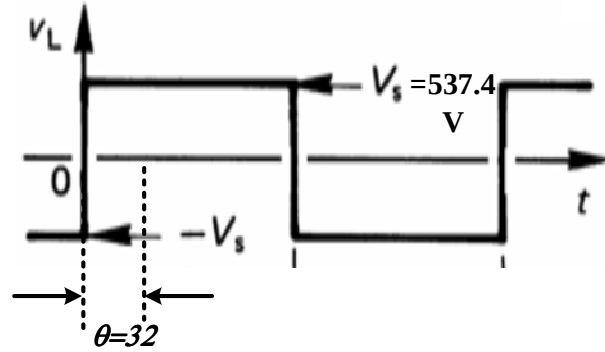
$\theta = 32^\circ$ درجة كهربائية.

- قيمة تيار الحمل المار

$$i = \frac{V_1}{Z}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{(4)^2 + (2.512)^2} = 4.723 \Omega$$

$$i = \frac{483.66}{4.727} = 102.32 \text{ Amper}$$



شكل (ب-16-2) الدارة المستخدمة - علاقة التوتر والتيار.

مثال (25):

يستخدم المعرج الجسري الثلاثي الطور لقيادة المحركات التحريضية. بين لنا كيف يمكن قيادة عناصر هذا الجسر (دوائر توليد النبضات وتتابع عمليات القدح)، وارسم شكل التوتر المتناوب الناتج

من هذا الجسر، إذا كانت زاوية عامل الاستطاعة $\cos \varphi = 30^\circ$ ارسم شكل التيار المار في أحد أطوار المحرك.

- كيف يمكن تغيير تردد هذا الجسر.

- كيف يمكن تغيير توتر خرج هذا الجسر.

ما مبدأ نظام تعديل عرض النبضة Pulse Width Modulation وكيف يمكن قيادة المعرجات والتحكم بالتوتر والتردد الناتج.

الحل:

- مبدأ نظام تعديل عرض النبضة يعتمد على مقارنة توترين، الأول توتر مرجعي عبارة عن موجة توتر متناوب جيبية ذات مطال أعظمي يساوي القيمة العظمى للتوتر المثلي ذي التردد العالي المراد استخدامه لتعديل عرض النبضة. و التوتر الثاني هو الموجة المثلية الشكل ذات التردد العالي (1-10KHz). عندما تكون القيمة اللحظية للتوتر المرجعي أكبر من الموجة المثلية نقدح القاطع الأول (فرضاً) ولدى كون الموجة المرجعية أصغر نفصل هذا القاطع، لذا فإن فترات التوصيل للقاطع خلال الدور سوف لن تكون متساوية (تعديل عرض النبضات) وسوف ترسم هذه النبضات أقرب شكل للموجة الجيبية حتى تنخفض نسبة التوافقيات في موجة الخرج.

- يتم عن طريق تغيير تردد التوتر المرجعي تغيير تردد الخرج للمعرج المستخدم كما يتم عن طريق تغيير مطال التوتر المرجعي تغيير القيمة الفعالة لتوتر خرج المعرج.

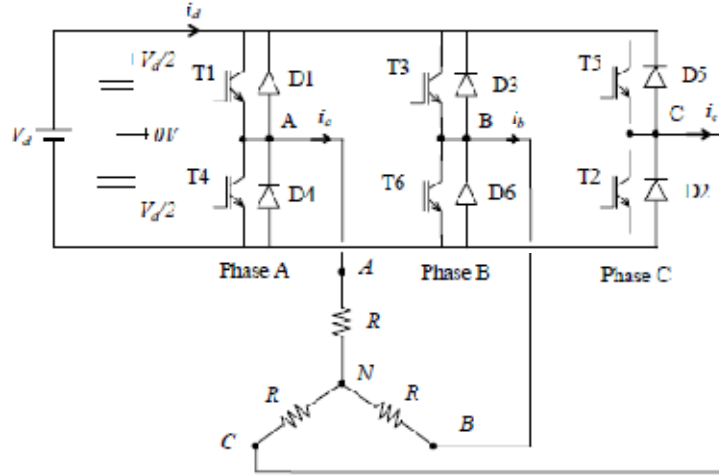
$$m = \frac{V_r}{V_C} < 1$$

- يمكن التحكم بالتردد لهذا الجسر بتغيير دور نبضات القدح.

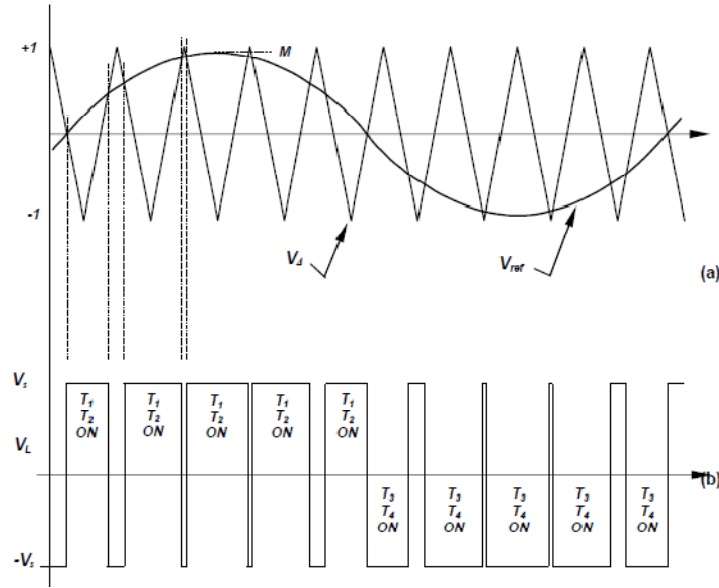
- ويمكن التحكم بالتوتر الناتج المتناوب عن طريق تغيير توتر الدخل المستمر على المعرج أو في نظام تعديل عرض النبضة بتغيير العامل (m) وهو نسبة التوتر المرجعي إلى توتر الأساس. حيث هذا التغيير يسبب نقصان فترة التوصيل أو زيادته لقواطع المعرج.

- المعرج الجسري الثلاثي الطور:

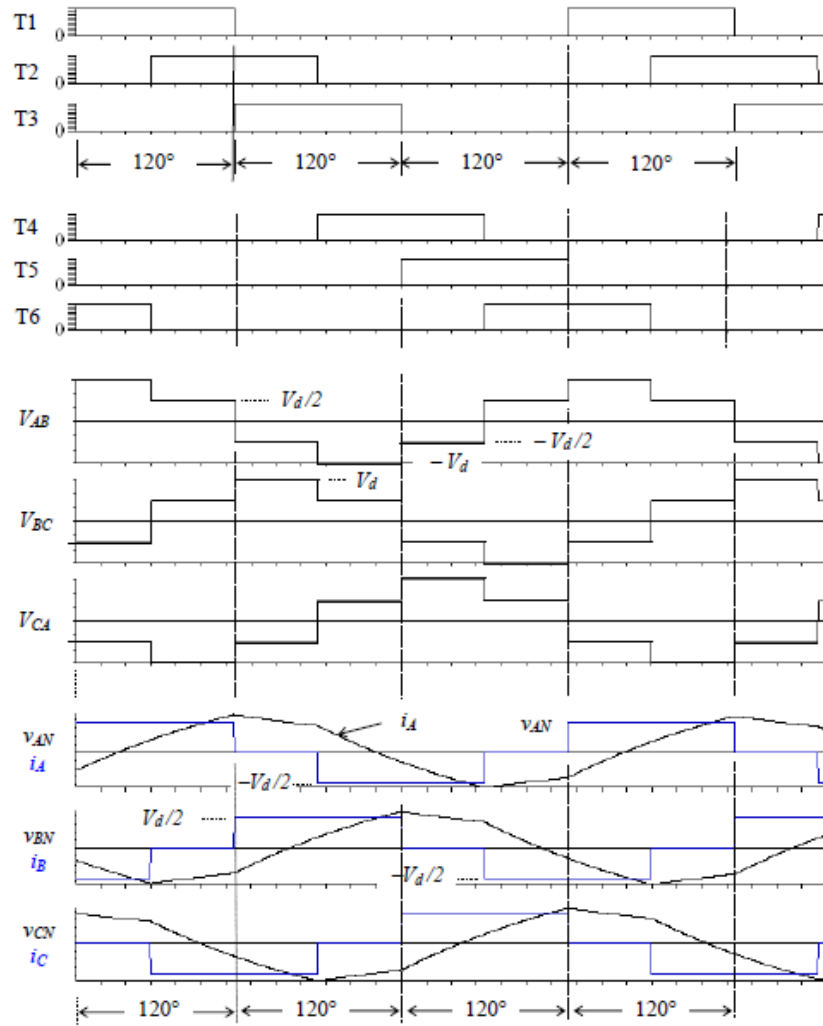
دائرة الاستطاعة للمعرج :



الشكل أدناه يوضح مبدأ نظام تعديل عرض النبضة

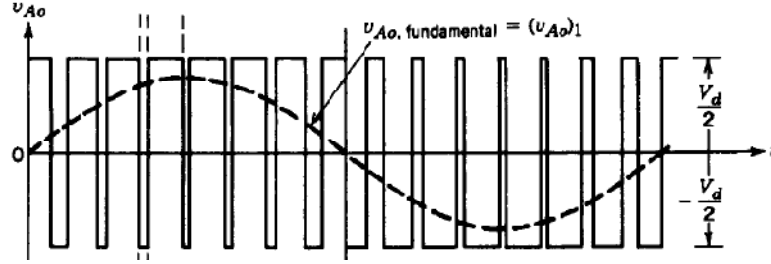
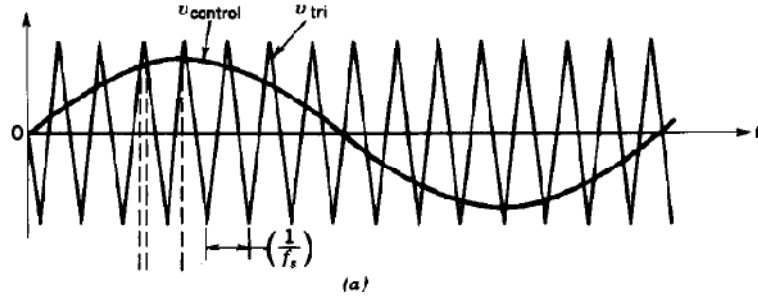


شكل (أ-19-2) التوتر المرجعي والحامل المثلثي عال التردد - نبضات القدح.



شكل (ب-19-2) دائرة الاستطاعة - نبضات القدح - توتر الأطوار الثلاث.

- عن طريق تغيير تردد التوتر المرجعي يمكن التحكم بتردد التوتر المتناوب الناتج عن المعرج.
- عن طريق تغيير مطال التوتر المرجعي يمكن التحكم بقيمة التوتر المتناوب الناتج والشكل أدناه يوضح موجة التوتر المرجعي وموجة التردد العالي ونبضات القدح الناتجة، يلاحظ أن النبضة تنشأ عندما يكون التوتر المرجعي أكبر من الموجة المثلثية .



شكل (س-19-2) نبضات القذح لنظام P.W.M.

مثال (26):

مدرج أحادي الطور، توتر الدخل المتناوب الجيبي ذو قيمة فعالة $V=240V$ عند تردد $50Hz$ ، إذا كانت ممانعة الحمل $Z=(7.1+j7.1)\Omega$. احسب تيار الحمل المار عند الزاوية ϕ ، وما القيمة الفعالة لتوتر الخرج، وتيار الخرج الفعال؟، وذلك عندما تكون زاوية التأخير للمدرج $\alpha = \frac{\pi}{6}$. وما عامل الاستطاعة للدخل؟.

الحل:

كما نعلم لدينا في المدرج (Phase Regulator) نتحكم بتشغيل الثيرستور في النصف الموجب والثيرستور المربوط باتجاه معاكس في النصف السالب من موجة توتر الدخل المتناوب. وهناك حدود ومجال لتغيير الزاوية (α) ، زاوية الإزاحة تبعاً لزاوية عامل الاستطاعة في الحمل ϕ . ويمكن في الجزء النظري تفهم حالات التشغيل الثلاث.

في حالة الحمل الأومي الصرف لدينا تيار الحمل يعطى بالشكل:

$$i_0(t) = \frac{V_0}{R} = \sqrt{2}V_m \sin \frac{\omega t}{R}$$

التوتر الناتج V_0 يمكن حسابه من التكامل:

$$V_0 = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} V \sin \omega t dt$$

$$V_0 = \frac{\sqrt{2} V}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

وعليه فإن التيار المار في الحمل:

$$I_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{\sqrt{2} V (1 + \cos \alpha)}{R \pi}$$

- زاوية عامل الاستطاعة للحمل:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} = \frac{\pi}{4}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{(7.1)^2 + (7.1)^2} = 10 \Omega$$

بما أن

$$\alpha < \varphi \Rightarrow \frac{\pi}{6} < \frac{\pi}{4}$$

فإن تيار الحمل متواصل وعليه فإن استطاعة الحمل:

$$\begin{aligned} P_0 &= I_{r.m.s}^2 \cdot R \\ &= \frac{V^2}{Z} \cdot \cos \varphi = \frac{(240)^2}{10} \cos \frac{\pi}{4} \end{aligned}$$

$$P_0 = 4.07 \text{ KW}$$

- التيار الفعال:

$$I_{r.m.s} = \sqrt{\frac{P_0}{R}} = \sqrt{\frac{4.07}{7.1}}$$

$$I_{r.m.s} = 23.8 \text{ A}$$

- عامل الاستطاعة:

$$P.F = \frac{P_0}{S}$$

$$P.F = \frac{4.07 \times 10^3}{240 \times 23.8} = 0.7$$

مثال (27):

منظم توتر متناوب أحادي الطور مبينة دارته بالشكل (أ-24-2) حُمل بمقاومة أومية $R=10\Omega$.
توتر الدخل $V_s=120V$ و $60Hz$. زاوية التأخير للثريستور T_1 ,

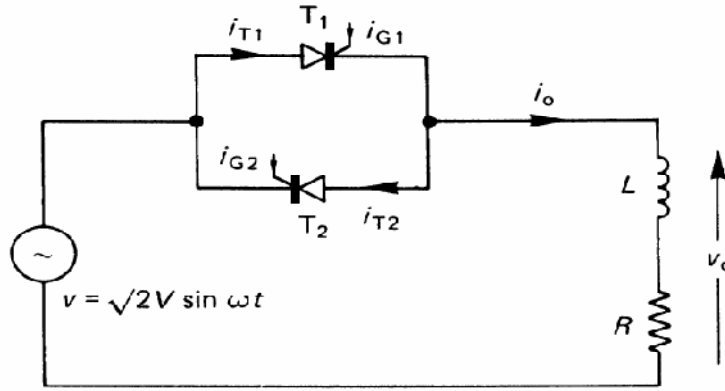
$$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ . بين ما يلي:}$$

a- القيمة الفعالة لتوتر الخرج V_0 .

b- عامل استطاعة الدخل PF.

c- تيار الدخل المتوسط.

الحل:



شكل (أ-24-2) a- دائرة الاستطاعة.

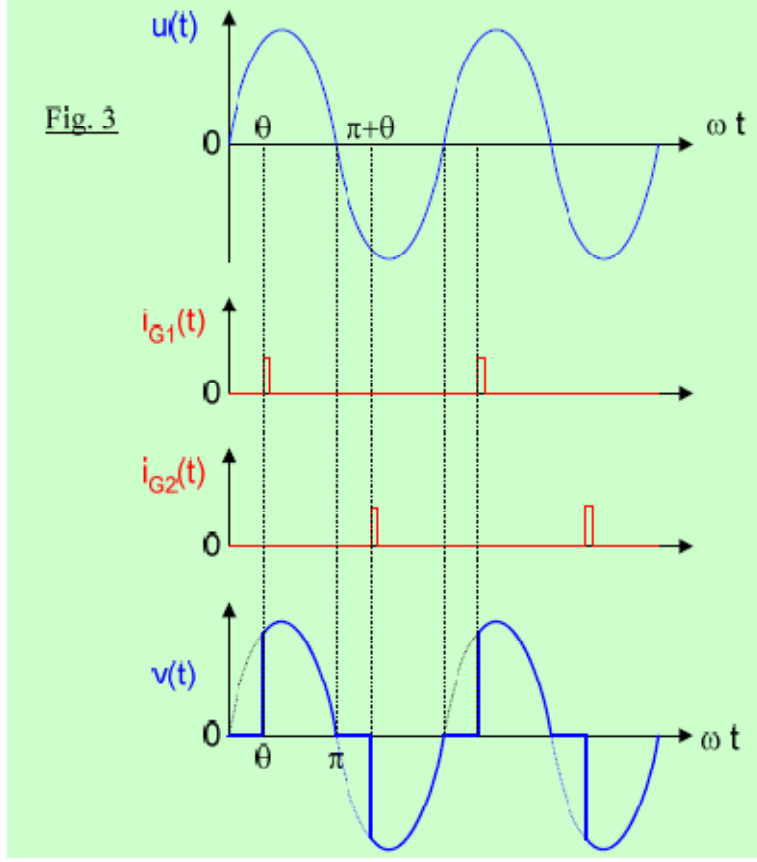
$$V_0 = \left\{ \frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} 2V_s \sin^2 \omega t d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} 2V_s \sin^2 \omega t d(\omega t) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$V_0 = \left\{ \frac{2V_s^2}{4\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$V_0 = \left[\frac{1}{2\pi} \left(2\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (1)$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}V_s \sin^2 \omega t d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} \sqrt{2}V_s \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]$$

$$V_{dc} = \frac{\sqrt{2}V_s}{2\pi} (\cos \alpha - 1) \dots \dots \dots (2)$$



شكل (ب - ٢٤-٢) موجة توتر وتيار الخرج ونبضات القذح لـ T_2, T_1 .

A - من العلاقة الواردة أدناه نحسب القيمة الفعالة لتوتر الخرج.

- القيمة المتوسطة لتوتر الخرج:

بأخذ القيم الرقمية:

$$V_0 = 120 \sqrt{\frac{3}{4}} = 103.92V$$

b- القيمة الفعالة لتيار الخط:

$$I_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{103.92}{10} = 10.392A$$

استطاعة الحمل

$$P_0 = I_0^2 \cdot R = (10.392)^2 \times 10 = 1079.94W$$

بما أن تيار الدخل هو نفس تيار الحمل، فإن استطاعة الدخل بـ VA هي:

$$V.A = V_S \cdot I_S = V_S \cdot I_0 = 120 \times 10.392 = 1247.04V.A$$

للدخل:

$$PF = \frac{P_0}{V.A} = \frac{1079.94}{1247.04} = 0.866(\text{Lagging})$$

$$PF = \frac{P_0}{V.A} = \frac{V_0}{V_s} = \left[\frac{1}{2\pi} \left(2\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$PF = \sqrt{\frac{3}{4}}$$

c- القيمة المتوسطة لتوتر الدخل:

$$V_{dc} = -120 \frac{\sqrt{2}}{2\pi} = -27V$$

وتيار الدخل المتوسط:

$$I_D = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{-27}{10} = -2.7A$$

مثال (28):

مبدل طور (مدرج توتر) أحادي الطور Mono Phase Regulator، يغذى من منبع توتر متناوب عند توتر 220 فولت. حمل بحمل تحريضي ذي عامل استطاعة قدره 0.7. مقاومة الحمل 4 أوم، تردد العمل 50 هرتز. طبق على الثيرستورات زاوية إزاحة قدرها 25 درجة كهربائية. ارسم شكل التوتر والتيار المار والممكن تطبيقه على الحمل في الحالتين التاليتين:

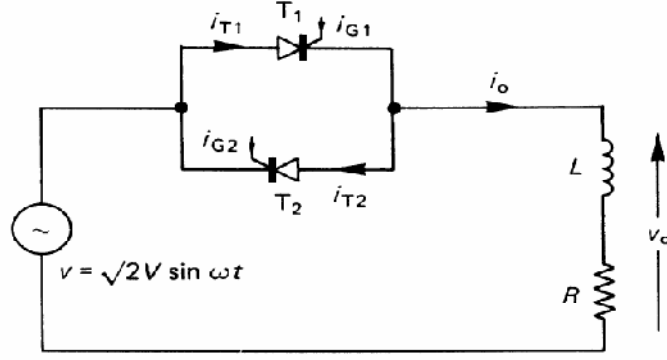
1- حالة كون عرض نبضة القذح ضيقة لا تتجاوز 3 درجات كهربائية.

2- حالة كون عرض نبضات القذح عريضة وتتجاوز 60 درجة كهربائية.

افرض أية قيمة تحتاجها أو احسبها بدلالة باقي القيم.

الحل:

مبدل الطور الأحادي هو من الشكل التالي:

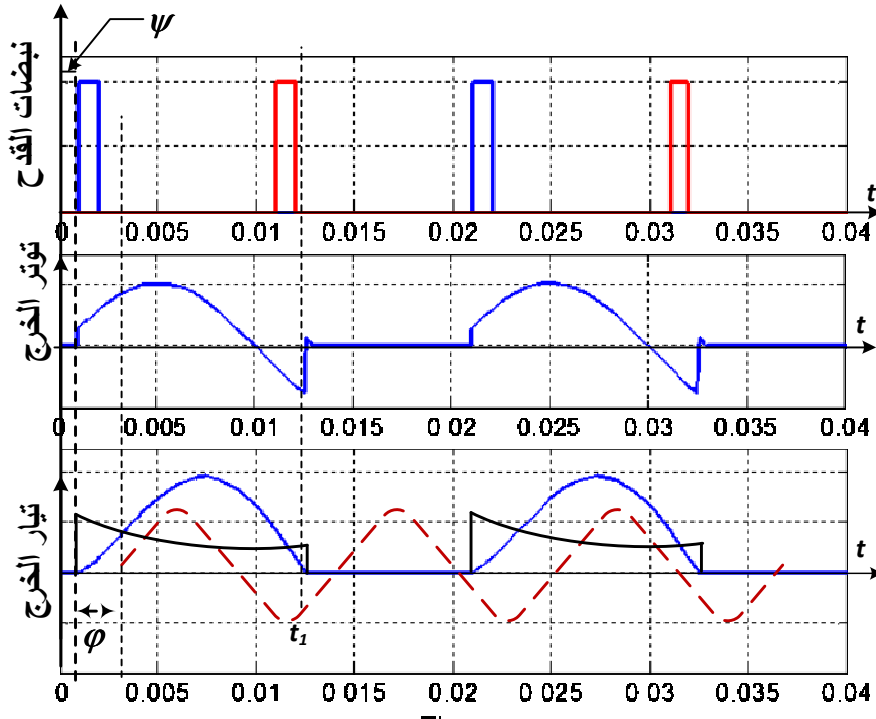


شكل (أ-26-2) دائرة الاستطاعة.

$\cos \phi = 0.7$ أي ما يعادل 45° . بما أن زاوية الإزاحة بالطور المطبقة على النظام 25 درجة، هذا يعني أن مبدل الطور يعمل عند المجال $0 < \psi < \phi$ ، لرسم شكل التوتر والتيار في الحالتين المطلوبتين لدينا ما يلي:

الحالة الأولى: عرض النبضة لا تتجاوز (3) درجات:

$$i = i_f + i_l = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \phi) - \frac{V_m}{Z} \sin(\psi - \phi) e^{-\frac{R}{L}(t-)}$$



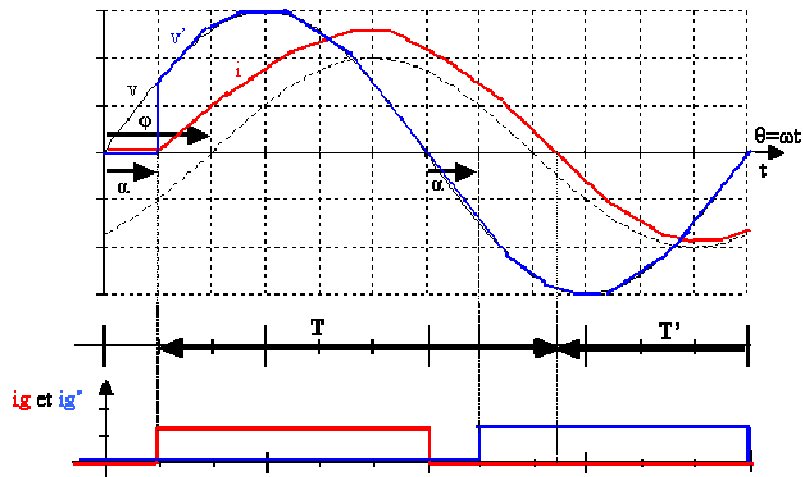
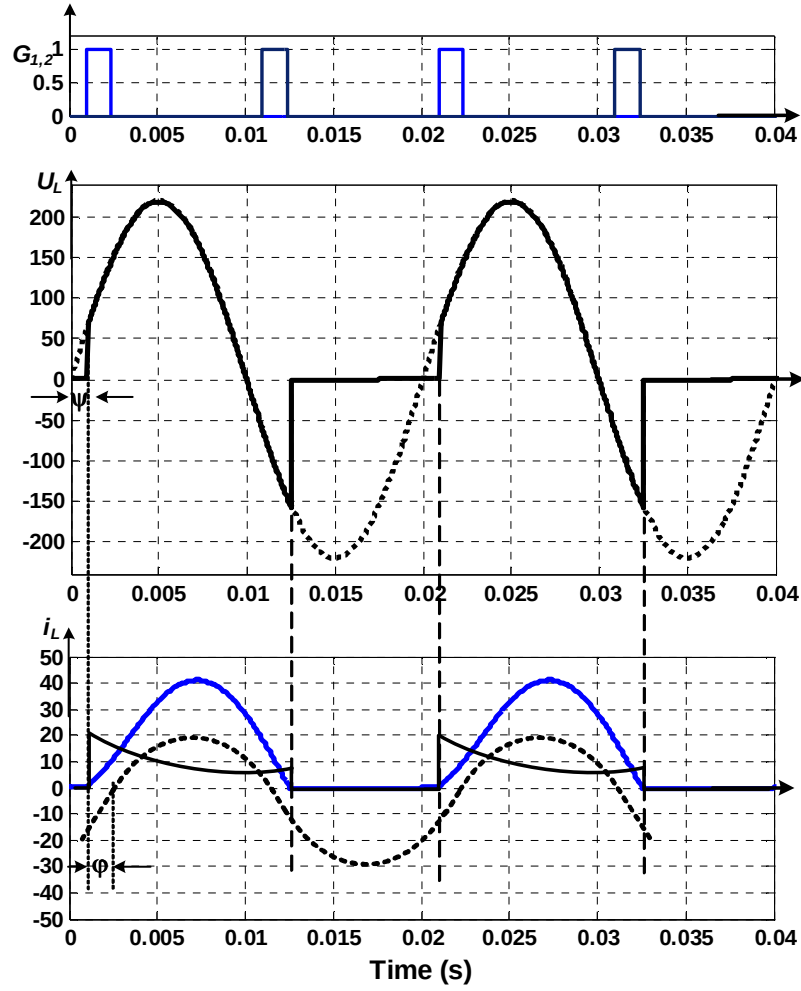
شكل (ب-26-2) نبضات القذح - توتر الخرج وتيار الخرج ومكوناته.

لدى تطبيق النبضة على الثيرستور الأول، ينتقل هذا الثيرستور للتوصيل وسيعطى التيار حسب العلاقة السابقة. هنا i_f و i_l من نفس الإشارة وسينعدم التيار عند الزمن $\omega t_1 > \pi + \varphi$ وهو بالتأكيد أكبر من $\pi + \psi$ وبما أن عرض النبضة 3 درجات عندئذ ستكون النبضة قد انتهت قبل السماح للثيرستور الثاني بالتوصيل، لذا لا يمكن أن ينتقل لحالة التوصيل.

في الدور الثاني يعود الثيرستور الأول أيضاً للعمل. وهكذا إذاً في هذه الحالة لا يعمل مبدل الطور خلال نصفي الدور، وهو يعمل كمقوم أحادي (ثيرستور وحيد). إذاً لا يمكن الاستمرار بالعمل في هذه الحالة كمبدل طور.

- بفرض أننا طبقنا النبضة على الثيرستور الأول. نجد أن هذا الثيرستور سيبدأ بالتوصيل ويستمر التيار حتى الزمن t_1 . عند هذا الزمن يكون الثيرستور الثاني Th_2 واقعاً تحت توتر موجب، وعليه نبضة موجبة مطابقة من الزمن ($t = \pi + \psi$) وبما أن النبضة عرضها 60 درجة. فإن Th_2 سوف ينتقل للتوصيل وهكذا يستمر تيار الحمل حتى الزمن t_2 ، حيث يعاد تطبيق النبضة على Th_1 والذي سوف ينتقل للتوصيل لأن النبضة مازالت مطابقة وهكذا يستمر التوصيل.

- التيار الفعال $I = \frac{V}{Z}$ والمدرج يعمل عندئذ كقاطع مغلق.



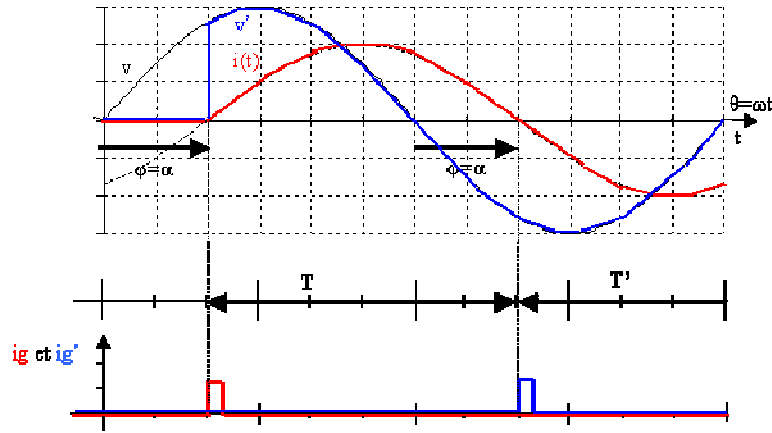
شكل (س-26) نبضات قذح عريضة- توتر الخرج وتيار الحمل.

ملاحظة :

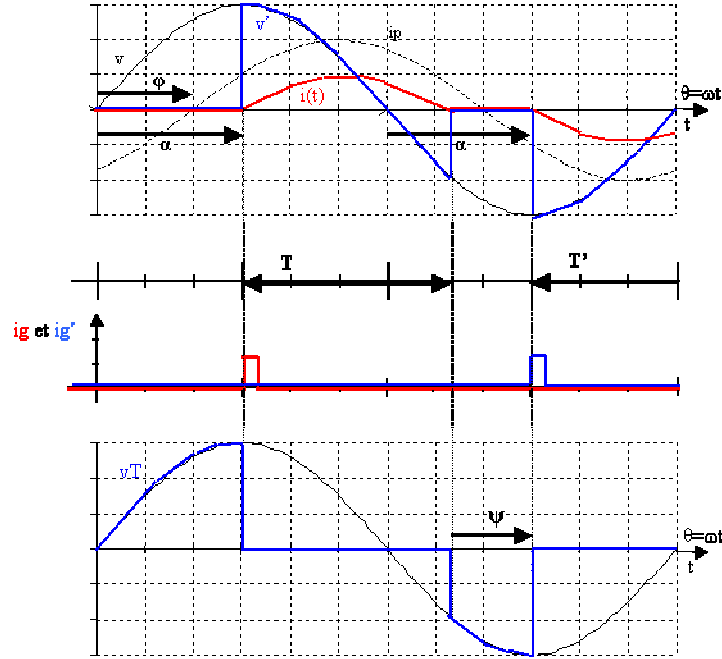
نصادف حالات تشغيل أخرى تكون فيها زاوية الإزاحة بالطور مساوية لزاوية عامل الاستطاعة ، كما نصادف حالات تكون فيها زاوية الإزاحة بالطور أكبر من زاوية عامل الاستطاعة ، والأشكال التالية توضح هذه الحالات ونرى كيف أنه عندما تكون $\alpha = \varphi$ ، ونبضة القدح كافية العرض فإن المدرج سيعمل كقاطع الكتروني ويمرر موجة تيار متناوب

وعندما تكون $\alpha > \varphi$ ، ونبضة القدح ذات عرض كاف سوف يعمل القاطع الأول ويستمر العمل في النصف السالب ويقف عن العمل قبل تطبيق نبضة القدح على الثيرستور الثاني لذا فور تطبيق النبضة على الثيرستور الثاني سوف يبدأ بالعمل ويستمر بالعمل في النصف الموجب ويتوقف عن العمل قبل لحظة تشغيل القاطع الأول مرة ثانية .

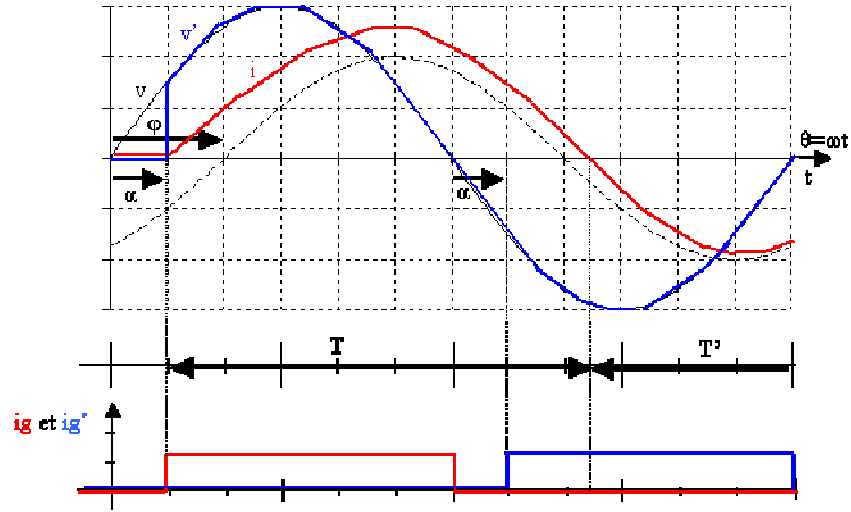
التوتر العكسي على كل ثيرستور ينشأ في الفترة التي لا يعمل بها ويساوي توتر الطور خلال تلك الفترة .



شكل (ج-26) شكل التوتر عند $\alpha > \varphi$ ، وفترات التوصيل لكل عنصر



شكل (د-26) منظم توتر يعمل عند زاوية إزاحة بالطور أكبر من زاوية عامل الاستطاعة
للحمل ، $\alpha > \varphi$



شكل (ك-26) لمنظم توتر يعمل عند زاوية إزاحة بالطور أصغر من زاوية عامل الاستطاعة
للحمل . $\alpha < \varphi$

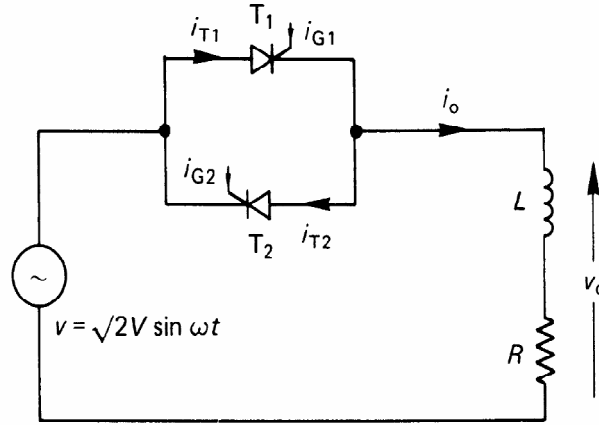
مثال (29):

مدرج أحادي الطور مقاد (Single- Phase Full- Wave Controller) كما في

الشكل (أ-29-2) أدناه، يغذي حمل تحريضي. توتر الدخل الفعال $V_s=120V$ ، $60H$. حثية الحمل $L=6.5mH$ و $R=2.5\Omega$. زاوية التأخير بالطور $\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{\pi}{2}$ حدد مايلي:

- a- فترة توصيل الثيرستور $T_1(\delta)$.
- b- القيمة الفعالة لتوتر الخرج V_0 .
- c- تيار الثيرستور الفعال.
- d- تيار الخرج الفعال I_0 . والمتوسط للثيرستور I_A وعامل استطاعة الدخل.
- F- حلل عمل المدرجات الأحادية الطور عند حمل أومي وحمل تحريضي وارسم أشكال التوتر والتيار والتوتر العكسي وبين فترات التوصيل والعمل في كل حالة .
- G- حلل عمل المدرجات الثلاثية الطور عند حمل أومي وحمل تحريضي وارسم أشكال التوتر والتيار والتوتر العكسي وبين فترات التوصيل والعمل في كل حالة .اذكر طرق التوصيل المختلفة للمدرجات الثلاثية الطور ،

الحل:



(a)

شكل (أ-29-2) a- دائرة الاستطاعة. b - زاويا الوصل والفصل.

إذا كانت $v_s = \sqrt{2}V_s \sin \omega t$ توتر الدخل الحظي، α_1 زاوية التأخير للثيرستور T_1 و i_1 تياره، فإنه لدى القرح ستكون لدينا العلاقة:

$$L \frac{di}{dt} + R.i_1 = \sqrt{2}V_s \sin \omega t \dots \dots \dots (1)$$

حل العلاقة أعلاه سيكون من الشكل:

$$i_1 = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \sin(\omega t - \theta) + A_1 e^{-(R/L)t} \dots\dots\dots(2)$$

ممانعة الحمل:

$$Z = \left(R^2 + (\omega L)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

وزاوية الحمل

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$$

الثابت A_1 يمكن تحديده من الشروط الأولية حيث أنه عند:

$$\omega t = \alpha \Rightarrow i_1 = 0$$

وبالتعويض أعلاه (2) نجد:

$$A_1 = -\frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \sin(\alpha - \theta) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega}\right)} \dots\dots\dots(3)$$

بالتعويض عن A_1 من العلاقة أعلاه في العلاقة الأساسية (2) نجد:

$$i_1 = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \left[\sin(\omega t - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega-t}\right)} \right] \dots\dots\dots(4) \quad \beta - \text{الزاوية}$$

، ويمكن تحديدها من الشروط بحيث: T_1 هي التي ينعدم عندها تيار الثيرستور

$$i_1(\omega t = \beta) = 0$$

وبالتعويض في العلاقة أعلاه:

$$\sin(\beta - \theta) = \sin(\alpha - \theta) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha-\beta}{\omega}\right)} \dots\dots\dots(5)$$

الزاوية β المعروفة بزاوية الإطفاء (extinction angel) يمكن تحديدها من هذه العلاقة ونحتاج لحلها لاستخدام حل تكراري (iterative solution). لدى معرفة β زاوية التوصيل (أو فترة

التوصيل)، الزاوية δ للثيرستور T_1 يمكن إيجادها من العلاقة:

$$\delta = \beta - \alpha \dots\dots\dots(6)$$

- القيمة الفعالة لتوتر الخرج تعطى بالعلاقة:

$$V_0 = \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} V_s^2 \sin^2 \omega t \cdot d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

- القيمة الفعالة لتيار الثيرستور يمكن إيجادها من العلاقة (4) حيث:

$$\begin{aligned} I_R &= \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_1^2 \cdot d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[\frac{4V_s^2}{4\pi} \int_{\alpha}^{\beta} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\beta - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} - \frac{\sin 2\beta}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

$$I_R = \frac{V_s}{Z} \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \left\{ \sin(\omega t - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega - t}\right)} \right\}^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(9)$$

- تيار الحمل الفعال يمكن تحديده من التيارات الفعالة للثيرستورات:

$$I_0 = (I_R^2 + I_R^2)^{\frac{1}{2}} = \sqrt{2} I_R \dots\dots\dots(9)$$

- التيار المتوسط للثيرستور:

$$\begin{aligned} I_A &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} i_1 \cdot d(\omega t) \\ \text{العلاقة (4)} \quad I_A &= \frac{\sqrt{2} V_s}{2\pi Z} \int_{\alpha}^{\beta} \left[\sin(\omega t - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{\left(\frac{R}{L}\right)\left(\frac{\alpha}{\omega - t}\right)} \right] d(\omega t) \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

تشير إلى أن توتر الحمل (أو التيار) يمكن أن يكون جيبياً إذا كانت زاوية التأخير بالقدر α أقل من زاوية الحمل θ .

إذا كانت α أكبر من θ سيكون تيار الحمل متقطعاً وغير جيبى.

ملاحظات:

1- إذا كانت $\alpha = \theta$ من العلاقة (5) نجد:

$$\sin(\beta - \theta) = \sin(\beta - \alpha) = 0 \dots\dots\dots(11)$$

$$\beta - \alpha = \delta = \pi \dots\dots\dots(12)$$

2- بما أن فترة التوصيل (زاوية التوصيل) δ لا يمكنها أن تتجاوز القيمة π وأن تيار الحمل يجب أن يمر بالقيمة صفر، فإن زاوية التأخير α يجب أن لا تقل عن θ وعندئذ مجال التحكم بتوتر الخرج سيكون ضمن مجال تغيير α بحيث:

$$\theta \leq \alpha \leq \pi \dots \dots \dots (13)$$

٣ - إذا كانت $\alpha \leq \theta$ وكانت نبضات القذح للثيристورات عريضة وكافية فإن تيار الحمل لن يتغير تبعاً لـ α ، وكلا الثيستورين سيوصلان لفترة π . الثيستور T_1 سيتم وصله عند الزمن $\omega t = \theta$ ، والثيستور المعاكس T_2 سيتم وصله عند $\omega t = \pi + \theta$.

التطبيق العملي:

$$\omega = 2\pi f; \quad f = 60\text{Hz}; \quad L = 6.5\text{mH} \quad R = 2.5\Omega;$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R} = 44.43^\circ; \quad \alpha = 90^\circ; \quad V_s = 120\text{V}; \quad \omega = 377\text{rad/s}.$$

a- زاوية الفصل للثيستور β يمكن تحديدها من العلاقة (5) والحل التكراري يعطي $\beta = 220.35^\circ$. وعليه فإن زاوية التوصيل:

$$\delta = \beta - \alpha = 220.43 - 90 = 130.43^\circ$$

b- من العلاقة (7) القيمة الفعالة rms لتوتر الخرج هو:

$$V_0 = 68.09\text{V}$$

c- التكامل العددي للعلاقة (8) ضمن الحدود $\alpha \rightarrow \beta$ تعطي القيمة الفعالة لتيار الثيستور

$$I_R = 15.07\text{A}$$

d- من العلاقة (9) نجد:

$$I_0 = \sqrt{2} \times 15.07 = 21.3\text{A}$$

e- الحل العددي للمعادلة (10) تعطي القيمة المتوسطة لتيار الثيستور:

$$I_A = 8.23\text{A}$$

- استطاعة الخرج:

$$P_0 = (21.3)^2 \times 2.5 = 1134.2\text{W}$$

- استطاعة الدخل $V.A$ يعطى بالشكل:

$$V.A = 120 \times 21.3 = 2556\text{W}$$

- عامل الاستطاعة للدخل:

$$P.F = \frac{P_0}{V.A} = \frac{1134.200}{2556} = 0.444(Lagg.)$$

أولاً : آلية عمل المدرج الأحادي الطور عند حمل أومي :

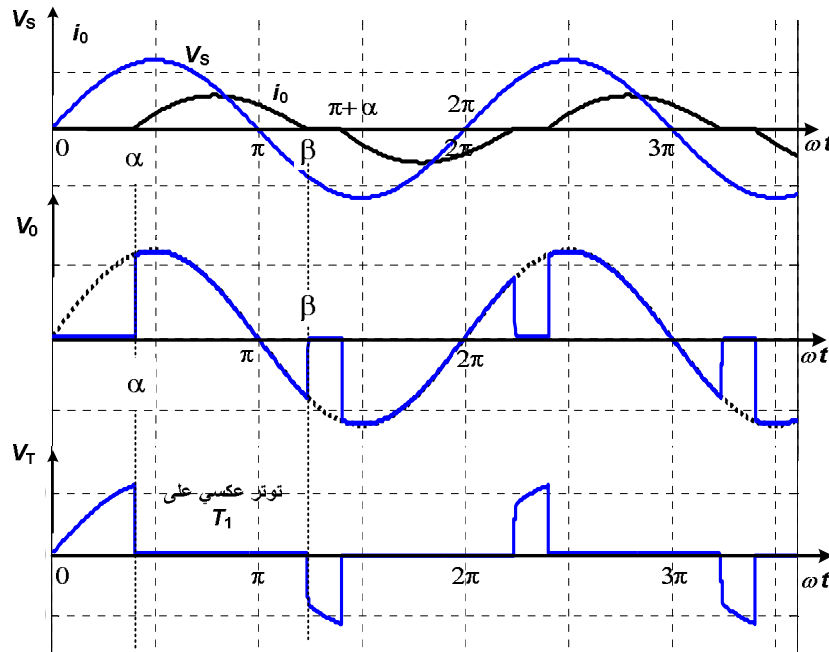
الشكل أدناه (د - 292) يعطي دارة الاستطاعة للمدرج الأحادي الطور المحمل بحمل أومي ، والذي يمكن تمثيله أيضاً بترياك . معادلة التوتر في الدخل تعطى بالشكل .

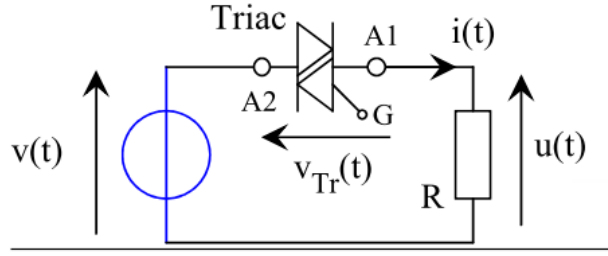
$$v(t) = V\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$$

$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$$

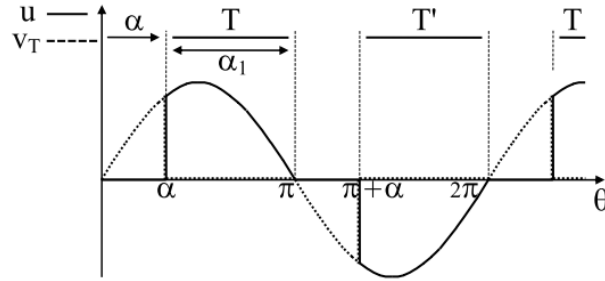
- إذا كانت زاوية الإزاحة بالطور المطبقة على الثيرستورات (أو الترياك) هي ψ فإنه بالإمكان رسم شكل التوتر على الحمل الأومي بحذف كل الجزء من موجة التوتر الواقع قبل بدء التشغيل والإزاحة ، والشكل (هـ - 292) يوضح

- ذلك . لدى مرور موجة التوتر بالصفر يتوقف التيار المار بالثيرستور أو الترياك وينعدم توتر الخرج . ويأخذ التيار شكل توتر الدخل تقريباً . كما تم رسم التوتر العكسي V_{Tr} على الثيرستور الموصل . نتأكد هنا أن التوتر العكسي عليه يساوي الصفر طالما هو في حالة التوصيل ، ويساوي القيمة العظمى لتوتر المنبع خلال فترة الحجز .





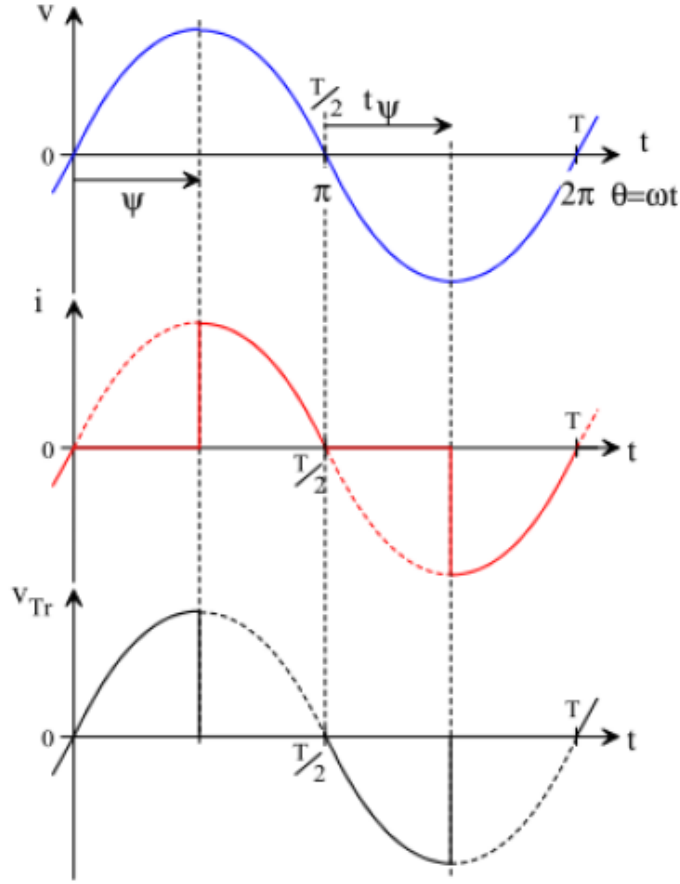
شكل (د - 292) دائرة الاستطاعة لمدرج احادي الطور أو ترياك



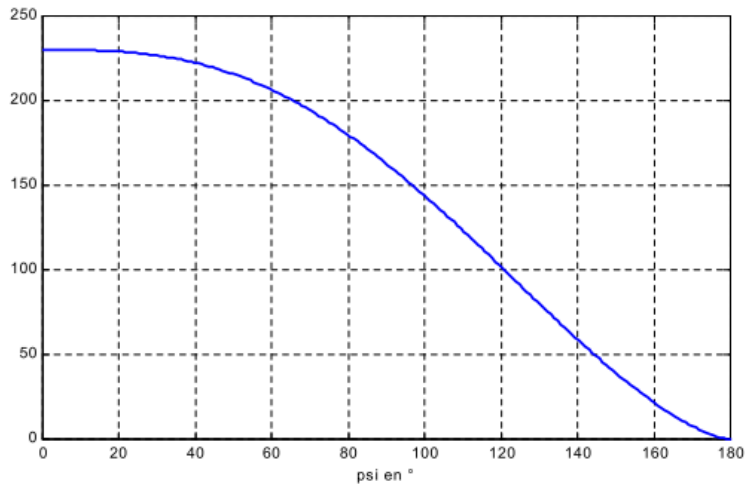
- تعطى القيمة الفعالة لتوتر الخرج للمدرج الأحادي الطور بالعلاقة التالية (وهي العلاقة الواردة في كتاب الكترونيات قدرة 2) وهي تابع لزواية التأخير بالطور ψ .

$$U_{eff} = V_{eff} \cdot \sqrt{1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin(2\psi)}{2\pi}}$$

هذا ويمكن رسم العلاقة بين التوتر الفعال في الخرج وزاوية التأخير بالطور ψ كما في الشكل (ع - 292).



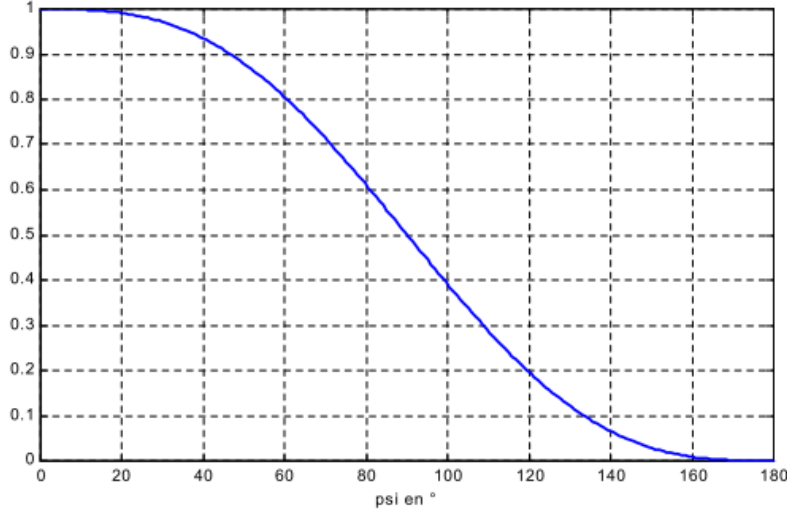
شكل (هـ - 292-) موجة توتر الخرج للمدرج الحادي الطور وبيان فترة التوصيل α_1
 (ع- 292-) . ونلاحظ أن التوتر يبدأ من قيمة عظمى تساوي توتر المنبع وتنتهي بقيمة قريبة من
 الصفر عند زاوية تأخير بالطور كبيرة أو تساوي 180 درجة كهربائية .



شكل (ع - 292-) تغير توتر الحمل بدلالة زاوية التأخير بالطور ψ

- لدى حساب الاستطاعة بالخرج ونسبها للاستطاعة العظمى يمكن استنتاج العلاقة الناعمة لتغير الاستطاعة بالخرج، والشكل (غ- 292) يوضح منحنى تغير هذه الاستطاعة بالقيم الواحدة .

$$\frac{P_{charge}}{P_{max}} = 1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin(2\psi)}{2\pi} \text{ en fonction de } \psi \text{ en } ^\circ :$$



شكل (غ- 292) تغير استطاعة الحمل منسوبة للاستطاعة العظمى بدلالة زاوية التأخير بالطور ψ

- تحسب القيم الفعالة للمركبة الأساسية للتيار المار في الحمل بالشكل التالي :

تعطى العلاقة العامة للتيار المار بالحمل بشكل عام بمركبتين :

$$i_1(t) = A_1 \cdot \cos(\omega t) + B_1 \cdot \sin(\omega t) \text{ avec } \omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$$

$$B_1 = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \cdot \sin(\omega t) \cdot dt = \frac{4}{2\pi} \int_{\psi}^{\pi} i(\theta) \cdot \sin(\theta) \cdot d\theta \text{ avec } \theta = \omega t$$

$$A_1 = \frac{4}{2\pi} \int_{\psi}^{\pi} i(\theta) \cdot \cos(\theta) \cdot d\theta$$

$$\text{on pose } i(\theta) = \frac{v_s(\theta)}{R} = \frac{V\sqrt{2}}{R} \cdot \sin(\theta) \text{ pour } \theta \in [\psi ; \pi]$$

$$A_1 = \frac{V\sqrt{2}}{R} \cdot \left[\frac{\cos(2\psi)}{2\pi} - \frac{1}{2\pi} \right] \text{ et } B_1 = \frac{V\sqrt{2}}{R} \cdot \left[1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin(2\psi)}{2\pi} \right]$$

Valeur efficace : $\frac{I_1}{I_0} = \sqrt{\left(\frac{\cos(2\psi)}{2\pi} - \frac{1}{2\pi} \right)^2 + \left(1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin(2\psi)}{2\pi} \right)^2}$

Argument du courant : $\phi_1 = \text{Arctan}\left(\frac{A_1}{B_1}\right)$

Puissance réactive : $Q_1 = V \cdot I_1 \cdot \sin(\phi_1)$

العلاقات أعلاه تعطي القيمة الفعالة للتيار بدلالة التيار الأعظمي I_0 . ونظراً لوجود مركبات توافقية ناشئة عن عمليات الفصل والوصل للقواطع، فإن الاستطاعة المستجرة من المنبع سوف تتشوه ويمكن بالتالي حساب الاستطاعة الكلية مع القيم الناتجة عن التشوه، في العلاقات أدناه تم وضع العلاقة النازمة لعامل الاستطاعة للحمل وذلك بدلالة الاستطاعة الحقيقية والاستطاعة الظاهرية الكلية، ونتيجة الاختصار نرى أنها تساوي القيمة الفعالة لتيار المنبع مقسوماً على التيار الأعظمي المستجر من المنبع :

Puissance déformante : $S = \sqrt{(P_1^2 + Q_1^2 + D^2)} = \sqrt{(S_1^2 + D^2)}$

$$\frac{D}{V \cdot I_0} = \sqrt{\left(\frac{I_{Ceff}}{I_0} \right)^2 - \left(\frac{I_{1eff}}{I_0} \right)^2}$$

Facteur de puissance : $Fp = \frac{P}{S} = \frac{R \cdot I_{Ceff}^2}{V_{seff} \cdot I_{Ceff}} = \frac{I_{Ceff}}{I_0}$

- بناءً عليه يمكن التعبير عن الاستطاعة الظاهرية الكلية الفعالة بدلالة توتر المنبع الفعال وتيار المنبع الفعال، كما يمكن التعبير عن المركبة الأساسية للاستطاعة الظاهرية للمنبر بدلالة توتر المنبع الفعال والمركبة الأساسية لتيار المنبع .

Puissance apparente : $S = V_{seff} \cdot I_{Ceff} \quad S_1 = V_{seff} \cdot I_{1eff}$

- المركبات التوافقية (المدرجات) في تيار المنبع يمكن التعبير عنها حسب العلاقة الواردة أدناه وهي تشمل المركبة الأساسية والمركبات للمدرجات الأخرى، كما يمكن رسم تغيرات المركبات الثلاث الأولى للمركبات التوافقية كتابع لزوايا التأخير بالطور، كما في الشكل (ف- 292-) أدناه وهي منسوبة للتيار الأعظمي.

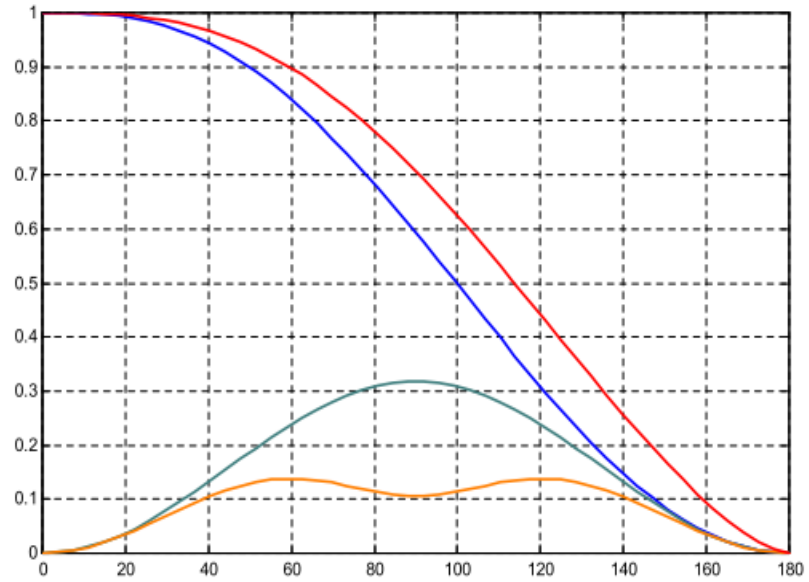
$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n \cdot \omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n \cdot \omega t)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{V\sqrt{2}}{R} \left[\frac{\cos(2\psi)}{2\pi} - \frac{1}{2\pi} \right] & \text{et } A_{2k+1} &= \frac{V\sqrt{2}}{R} \left[\frac{\cos(2(k+1)\psi) - 1}{2(k+1)\pi} - \frac{\cos(2k\psi) - 1}{2k\pi} \right] \\ B_1 &= \frac{V\sqrt{2}}{R} \left[1 - \frac{\psi}{\pi} + \frac{\sin(2\psi)}{2\pi} \right] & \text{et } B_{2k+1} &= \frac{V\sqrt{2}}{R} \left[\frac{\sin(2(k+1)\psi)}{2(k+1)\pi} + \frac{\sin(2k\psi)}{2k\pi} \right] \end{aligned}$$

Variation des trois premiers harmoniques

et du courant efficace en fonction de ψ en degrés :

$$x_{2k+1} = \frac{I_{2k+1}}{I_0} = \frac{\sqrt{\left(\frac{A_{2k+1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{B_{2k+1}}{\sqrt{2}}\right)^2}}{V/R}$$



شكل (ف - 292-) المركبات التوافقية الثلاث الأولى كتابع لزوايا التأخير بالطور ومنسوبة للتيار الأعظمي